

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO BALBO BATISTA

SISTEMAS AGROFLORESTAIS E SEUS REFLEXOS NO DESMATAMENTO E
EMISSÕES: UMA ANÁLISE VIA O MÉTODO PROPENSITY SCORE MATCHING
PARA A AMAZÔNIA E O CERRADO

CURITIBA

2021

THIAGO BALBO BATISTA

SISTEMAS AGROFLORESTAIS E SEUS REFLEXOS NO DESMATAMENTO E
EMISSIONES: UMA ANÁLISE VIA O MÉTODO PROPENSITY SCORE MATCHING
PARA A AMAZÔNIA E O CERRADO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientadora: Prof^a Terciane Sabadini Carvalho
Coorientador: Prof. Dr. Vinicius de Almeida Vale

CURITIBA

2021

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS SOCIAIS
APLICADAS – SIBI/UFPR COM DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)
Bibliotecário: Eduardo Silveira – CRB 9/1921

Batista, Thiago Balbo

Sistemas agroflorestais e seus reflexos no desmatamento e nas emissões: uma análise via o Método Propensity Score Matching para a Amazônia e o Cerrado / Thiago Balbo Batista. – 2021.

77 p.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico, do Setor de Ciências Sociais Aplicadas.

Orientadora: Terciane Sabadini Carvalho.

Coorientador: Vinicius de Almeida Vale.

Defesa: Curitiba, 2021.

1. Desenvolvimento econômico. 2. Sistemas. 3. Agroflorestal.
4. Amazônia. 5. Cerrado. I. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Sociais Aplicadas. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico. II. Carvalho, Terciane Sabadini. III. Vale, Vinicius de Almeida. IV. Título.

CDD 634.99

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **THIAGO BALBO BATISTA** intitulada: **SISTEMAS AGROFLORESTAIS E SEUS REFLEXOS NO DESMATAMENTO E NAS EMISSÕES: UMA ANÁLISE VIA O MÉTODO PROPENSITY SCORE MATCHING PARA A AMAZÔNIA E O CERRADO**, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 02 de Março de 2021.

Assinatura Eletrônica

30/04/2021 11:47:09.0

TERCIANE SABADINI CARVALHO

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

30/04/2021 11:19:38.0

ALEXANDRE ALVES PORSSE

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

30/04/2021 13:41:03.0

ALEXANDRE NUNES DE ALMEIDA

Avaliador Externo (ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA - LUIZ DE QUEIROZ -USP)

*"O sofrimento é a única causa da consciência."
(Fiódor Dostoiévski)*

RESUMO

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) são modelos em que o manejo da terra, para a produção agrícola e a produção animal, ocorre na mesma área de florestas nativas ou secundárias. Estes sistemas podem ser considerados adaptativos às mudanças climáticas à medida que estabilizam o microclima, protegem os pequenos agricultores de secas e inundações, aumentam a produtividade da terra, diversificam a produção, entre outros benefícios. Os SAFs também são importantes para a mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), visto que possuem alto potencial de sequestro de carbono e, indiretamente, podem reduzir a pressão por novas áreas agricultáveis em florestas nativas. Dessa maneira, esta dissertação tem como objetivo avaliar os efeitos da expansão dos SAFs, entre 2006 e 2017, em municípios da Amazônia e do Cerrado. Para isto, utiliza-se o método *Propensity Score Matching* (PSM) a fim de obter o efeito médio de tratamento sobre os tratados (EMTT), em que a hipótese principal compreende a premissa de que a expansão dos SAFs poderia coibir o avanço de terras agricultáveis em áreas nativas e, consequentemente, reduzir o desmatamento e as emissões de CO₂ nos anos de 2017 a 2019. Diferentes critérios são utilizados para definir os grupos de tratamento e de controle. No primeiro tratamento, expansão dos SAFs acima de 0 hectares, os resultados não encontraram evidências de que houve uma redução sistemática no desmatamento. No caso das emissões de CO₂, os resultados significativos foram observados apenas em 2019, ou seja, emissões menores nos municípios em que houve expansão dos SAFs. Considerando os tratamentos com aumento percentual dos SAFs superior ao primeiro, segundo e terceiro quartil, resultados divergentes são observados. No tratamento com aumento percentual acima do segundo quartil, o desmatamento, em 2019, foi inferior e as emissões de CO₂, em 2017, foram superiores nos municípios tratados. No tratamento percentual acima do terceiro quartil, por sua vez, os resultados apontam que o desmatamento, em 2018, foi superior e as emissões de CO₂ foram superiores, em 2017 e 2018, nos municípios tratados. Tais resultados podem estar associados ao período curto analisado, visto que os efeitos dos SAFs são mais prováveis no longo prazo.

Palavras-chaves: Sistemas Agroflorestais. Emissões. Desmatamento. Propensity Score Matching.

ABSTRACT

Agroforestry Systems (AFS) are models where land management for agricultural and animal productions occurs in the same area of native or secondary forests. These systems are considered adaptive to climate change as they stabilize the microclimate, protect small farmers from droughts and floods, increase land productivity, diversify production, among other benefits. AFS are also important for mitigating greenhouse gas (GHG) emissions, as they have a high potential for carbon sequestration and, indirectly, can reduce pressure for new agricultural areas in native forests. Thus, this dissertation aims to evaluate the AFS expansion effects, between 2006 and 2017, in municipalities of Amazon and Cerrado. For this propose, the Average Treatment Effect on the Treaties (ATT) is estimated by the Propensity Score Matching (PSM) method, which the main hypothesis comprises the premise that the AFS expansion could curb the agricultural land advancing in native areas and, therefore, reduce deforestation and CO₂ emissions from 2017 to 2019. Different criteria are used to define the treatment and control groups. In the first treatment, AFS expansion over 0 hectares, there is no evidence that existed a systematic reduction in deforestation. In the case of CO₂ emissions, significant results were observed only in 2019, that is, lower emissions in the municipalities where AFS were expanded. Considering the treatments with an AFS percentage increase higher than the first, second, and third quartiles, divergent results are observed. In the treatment with a percentage increase above the second quartile, the deforestation, in 2019, was lower and the CO₂ emissions, in 2017, were higher in the treated municipalities. In the treatment of percentage increase above the third quartile, the results indicate that deforestation, in 2018, was higher and CO₂ emissions were higher, in 2017 and 2018, in the treated municipalities. Such results may be associated with the short period analyzes, since the AFS effects are more likely to occur in the long run.

Key-words:Agroforestry Systems. Emission. Deforestation. Propensity Score Matching.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 – Crescimento porcentual da área agroflorestal - Amazônia - 2006 a 2017 | 25 |
| FIGURA 2 – Área agroflorestal em hectares (% da área total) - Amazônia - 2017 | 25 |
| FIGURA 3 – Crescimento porcentual de estabelecimentos com SAFs - Amazônia - 2006 a 2017 | 26 |
| FIGURA 4 – Porcentual de estabelecimentos com área agroflorestal - Amazônia - 2017 | 26 |
| FIGURA 5 – Crescimento porcentual da área agroflorestal - Cerrado - 2006 a 2017 | 27 |
| FIGURA 6 – Área agroflorestal em hectares (% da área total) - Cerrado - 2017. | 27 |
| FIGURA 7 – Crescimento porcentual de estabelecimentos com SAFs - Cerrado - 2006 a 2017 | 28 |
| FIGURA 8 – Porcentual de estabelecimentos com área agroflorestal - Cerrado - 2017. | 28 |
| FIGURA 9 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: desmatamento. 1º Tratamento. | 30 |
| FIGURA 10 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: emissões. 1º Tratamento. | 30 |
| FIGURA 11 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: desmatamento. 2º Tratamento. | 30 |
| FIGURA 12 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: emissões. 2º Tratamento. | 30 |
| FIGURA 13 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: desmatamento. 3º Tratamento. | 31 |
| FIGURA 14 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: emissões. 3º Tratamento. | 31 |
| FIGURA 15 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: desmatamento. 4º Tratamento. | 31 |
| FIGURA 16 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: emissões. 4º Tratamento. | 31 |
| FIGURA 17 – Incremento de Desmatamento por município - 2017 | 40 |
| FIGURA 18 – Emissões de CO ₂ por município - 2017 | 40 |
| FIGURA 19 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 1º Tratamento | 57 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 20 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO ₂ . Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 1º Tratamento | 58 |
| FIGURA 21 – Balanceamento. Variável dependente: desmatamento. Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 1º Tratamento | 59 |
| FIGURA 22 – Balanceamento. Variável dependente: emissões de CO ₂ . Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 1º Tratamento | 60 |
| FIGURA 23 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 2º Tratamento | 61 |
| FIGURA 24 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO ₂ . Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 2º Tratamento | 62 |
| FIGURA 25 – Balanceamento. Variável dependente: desmatamento. Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 2º Tratamento | 63 |
| FIGURA 26 – Balanceamento. Variável dependente: emissões de CO ₂ . Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 2º Tratamento | 64 |
| FIGURA 27 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 3º Tratamento | 65 |
| FIGURA 28 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO ₂ . Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 3º Tratamento | 66 |
| FIGURA 29 – Balanceamento. Variável dependente: desmatamento. Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 3º Tratamento | 67 |
| FIGURA 30 – Balanceamento. Variável dependente: emissões de CO ₂ . Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 3º Tratamento | 68 |
| FIGURA 31 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 4º Tratamento | 69 |
| FIGURA 32 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO ₂ . Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 4º Tratamento | 70 |
| FIGURA 33 – Balanceamento. Variável dependente: desmatamento. Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 4º Tratamento | 71 |
| FIGURA 34 – Balanceamento. Variável dependente: emissões de CO ₂ . Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Vizinho Mais Próximo. 4º Tratamento | 72 |
| FIGURA 35 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Kernel. Tratamento: crescimento acima de 0 hectares | 73 |
| FIGURA 36 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO ₂ . Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Kernel. Tratamento: crescimento acima de 0 hectares. | 73 |
| FIGURA 37 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Kernel. Tratamento: crescimento (%) > 1º quartil | 73 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 38 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO ₂ . Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Kernel. Tratamento: crescimento (%) > 1º quartil. | 73 |
| FIGURA 39 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Kernel. Tratamento: crescimento (%) > 2º quartil | 74 |
| FIGURA 40 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO ₂ . Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Kernel. Tratamento: crescimento (%) > 2º quartil. | 74 |
| FIGURA 41 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Kernel. Tratamento: crescimento (%) > 3º quartil | 74 |
| FIGURA 42 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO ₂ . Método: <i>Propensity Score Matching</i> - Kernel. Tratamento: crescimento (%) > 3º quartil. | 74 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| QUADRO 1 – Descrição das variáveis | 36 |
|--|----|

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1 – Composição dos grupos de tratamento e de controle | 36 |
| TABELA 2 – Análise descritiva das variáveis | 39 |
| TABELA 3 – Resultados das funções <i>logit</i> para o <i>propensity score</i> | 42 |
| TABELA 4 – Testes de chi-quadrado. Variável dependente: desmatamento . . | 44 |
| TABELA 5 – Testes de chi-quadrado. Variável dependente: emissões de CO ₂ . | 44 |
| TABELA 6 – EMTT no desmatamento e nas emissões de CO ₂ . Tratamento: crescimento acima de 0 hectares | 45 |
| TABELA 7 – EMTT no desmatamento e nas emissões de CO ₂ . Tratamento: crescimento (%) > 1º quartil | 45 |
| TABELA 8 – EMTT no desmatamento e nas emissões de CO ₂ . Tratamento: crescimento (%) > 2º quartil | 46 |
| TABELA 9 – EMTT no desmatamento e nas emissões de CO ₂ . Tratamento: crescimento (%) > 3º quartil | 47 |
| TABELA 10 – Valores de gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: desmatamento. 1º Tratamento | 75 |
| TABELA 11 – Valores de Gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: desmatamento. 2º Tratamento | 75 |
| TABELA 12 – Valores de Gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: desmatamento. 3º Tratamento | 76 |
| TABELA 13 – Valores de Gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: desmatamento. 4º Tratamento | 76 |
| TABELA 14 – Valores de Gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: emissões de CO ₂ . 1º Tratamento | 76 |
| TABELA 15 – Valores de Gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: emissões de CO ₂ . 2º Tratamento | 77 |
| TABELA 16 – Valores de Gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: emissões de CO ₂ . 3º Tratamento | 77 |
| TABELA 17 – Valores de Gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: emissões de CO ₂ . 4º Tratamento | 77 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 17 |
| 2.1 | OS SAFS NA AMAZÔNIA E NO CERRADO | 22 |
| 3 | METODOLOGIA E DADOS | 29 |
| 3.1 | ESTRATÉGIA DE IDENTIFICAÇÃO | 29 |
| 3.2 | DADOS | 35 |
| 4 | RESULTADOS | 41 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 50 |
| | REFERÊNCIAS | 52 |
| | APÊNDICE 1 - O suporte comum e o balanceamento das covariáveis | 54 |
| | APÊNDICE 2 - Testes não-paramétricos de Wilcoxon | 56 |

1 INTRODUÇÃO

As emissões antropogênicas de Gases de Efeito Estufa (GEE) são as principais fontes de aumento da temperatura média desde a era pré-industrial. Os níveis de concentração desses gases na atmosfera são apontados como os principais determinantes na evolução das mudanças climáticas ao longo do século XXI, exigindo esforços de mitigação tanto em níveis regionais quanto em nível global (IPCC, 2014).

Enquanto as fontes de emissões nos países desenvolvidos concentram-se nos processos industriais e consumo de energia, no Brasil, um país em desenvolvimento, as emissões atreladas ao uso da terra mostram-se relevantes. Em 2016, segundo dados do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTIC), 22,3% das emissões líquidas de CO₂eq na economia brasileira tiveram como fonte o uso da terra, mudança do uso da terra e floresta (UTMUTF). Estes dados são importantes por estarem associados à matriz florestal brasileira, que conta com importantes biomas, como a Amazônia e o Cerrado, considerados *hotspots* de biodiversidade¹ e os maiores em extensão na América do Sul (BRASIL, 2018a, 2020).

As emissões nesses biomas estão centradas no desmatamento para a conversão de terras nativas em atividades agropecuárias ou para a exploração comercial da madeira (BRASIL, 2016). Nesse contexto, as pressões internacionais, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (CQNUMC) e o Plano Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) induziram o Brasil a adotar políticas de controle do desmatamento e de fomento da agricultura sustentável. Destacando-se o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) e o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado). Por meio dessas ações, a taxa de desmatamento foi reduzida em 60% entre 2004 e 2019 na Amazônia, 35% entre 2009 e 2019 no Cerrado e as emissões líquidas de CO₂eq pelo UTMUTF, que chegaram a compor 70% das emissões em 2005 no Brasil, foram reduzidas a 18% do total em 2014 (INPE, 2020; BRASIL, 2016).

O incentivo a modelos de agricultura sustentável também está nas linhas de ação dos planos PPCDam e PPCerrado. Entre os modelos propostos, destacam-se os Sistemas Agroflorestais (SAFs), nos quais o manejo da terra para a agricultura e/ou produção animal é realizado na mesma área de espécies perenes lenhosas, como árvores e arbustos (FAO, 2015). Dessa forma, a alternativa à agricultura convencional não só gera benefícios para o produtor com a recuperação de solos degradados,

¹ Áreas de grande biodiversidade que podem estar ameaçadas de destruição ou que espécies endêmicas correm o risco de extinção (REID, 1998).

estabilização térmica e diversificação da produção, mas também apresenta potencial de mitigação das emissões de GEE com o sequestro de carbono e, indiretamente, com a redução de pressão por novas áreas agricultáveis (LASCO; DELFINO; ESPALDON, 2014).

Além destes planos, na última década houve incentivos diretos para a expansão de SAFs pelo Plano Setorial de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC) e incentivos indiretos pelo fortalecimento da agricultura familiar. Porro e Miccolis (2011) destacam que programas como o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA), Programa Nacional de Alimentação Nacional (PNAE) e o Programa de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) os mercados locais de produtos agroecológicos e orgânicos produzidos por SAFs, além do Pronaf Florestal subsidiar diretamente projetos de agroecologia como esses sistemas. Nos municípios do Cerrado e da Amazônia, 76% das propriedades com agroflorestas pertencem à agricultura familiar e, aproximadamente, 2.2 milhões de hectares foram expandidos entre os anos de 2006 e 2017 (IBGE, 2006, 2017).

Considerando os reflexos das mudanças climáticas e a importância da promoção de práticas sustentáveis para mitigação das emissões de GEE, alguns trabalhos buscaram responder qual o potencial de mitigação no Brasil. Entre eles, Branca et al. (2013) estimaram a contribuição dos SAFs na mitigação das emissões de GEE em dois programas de fomento à agricultura sustentável: Santa Catarina Rural (SC Rural) e Rio Rural. Pelo método *EX-Ante Carbon - Balance Tool*, os autores verificaram que 61,7% da mitigação no SC Rural, em 20 anos, seria pelos SAFs, enquanto 31,1% da mitigação no Rio Rural, em 20 anos, seria pelas agroflorestas. Já em um assentamento rural no Mato Grosso do Sul (MS), Carmo Martinelli et al. (2019) calcularam o potencial de mitigação dos SAFs pelo método *Life Cycle Assessment* (LCA), e estimaram os resultados entre -263 e -496 toneladas de CO₂ por hectare. Villa et al. (2020), por sua vez, realizaram um estudo de campo na região amazônica e verificaram que os SAFs podem formar estoques de carbono superiores às florestas secundárias.

Nesse contexto, este trabalho busca agregar novas evidências à literatura de mitigação das mudanças climáticas no Brasil. Além disso, como os trabalhos anteriores foram mais restritos geograficamente, esta dissertação busca gerar resultados mais amplos com a alocação da amostra em municípios do Cerrado e da Amazônia. Para tal, tem-se como objetivo específico avaliar se a expansão dos SAFs, entre 2006 e 2017, contribuiu para redução das emissões de CO₂ e diminuição da pressão sobre áreas florestais nesses biomas.

Nessa análise, utiliza-se dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e dos Censos Agropecuários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para estimar o Efeito Médio do Tratamento sobre os Tratados (EMTT) nos municípios em que houve expansão dos SAFs, o qual é obtido, neste trabalho, pelo

método *Propensity Score Matching* (PSM). Além disso, dada a impossibilidade de definir *a priori* o tratamento apropriado, são testados quatro tratamentos alternativos em que as unidades tratadas, dentre os municípios com crescimento positivo dos SAFs, são definidos como:

- Municípios que apresentam qualquer aumento acima de zero hectare entre 2006 e 2017.
- 75% dos municípios que têm os crescimentos percentuais dos SAFs mais altos (superior ao primeiro quartil da amostra).
- 50% dos municípios que têm os crescimentos percentuais dos SAFs mais altos (superior ao segundo quartil da amostra).
- 25% dos municípios que têm os crescimentos percentuais dos SAFs mais altos (superior ao terceiro quartil da amostra).

A hipótese principal consiste na ideia de que a expansão dos SAFs poderia ter gerado diversificação da produção e ganhos de produtividade sem o aumento da área cultivável, e/ou poderia fixar na terra produtores que praticam sistemas de produção extensivos. Dessa maneira, a expansão da fronteira agrícola seria mitigada e, conseqüentemente, o desflorestamento e as emissões de CO₂ seriam inferiores nos municípios em que houve aumento dos SAFs entre 2006 e 2017. Todavia, como a implementação de um SAF ocorre gradualmente e seus efeitos podem se estender no longo prazo, não é improvável encontrar resultados dos SAFs, nos anos de 2017 a 2019, não significativos.

Deste modo, os resultados observados não apontam que houve uma redução sistemática do desmatamento e das emissões. No primeiro tratamento, expansão dos SAFs acima de 0 hectares, não há evidências de que houve redução do desmatamento. No caso das emissões de CO₂, os resultados com significância estatística são observados somente no ano de 2019, ou seja, emissões menores nos municípios em que houve expansão dos SAFs. No tratamento com aumento percentual acima do segundo quartil, o desmatamento, em 2019, foi inferior e as emissões de CO₂, em 2017, foram superiores nos municípios tratados. Por fim, no tratamento com aumento percentual acima do terceiro quartil, os resultados indicam que o desmatamento, em 2018, foi superior e as emissões de CO₂ foram superiores, em 2017 e 2018, nos municípios tratados.

Além desta introdução, esta dissertação em 4 capítulos. O segundo capítulo consiste em uma breve revisão de literatura sobre os SAFs e a importância de adotá-los para a mitigação das emissões de GEE, além de uma seção com a análise descritiva

dos SAFs na Amazônia e no Cerrado . Em seguida, apresenta-se a metodologia utilizada, incluindo a descrição dos dados e a estratégia de identificação para aplicar o PSM. O capítulo 4 exibe e discute os resultados encontrados. Finalmente, o último capítulo apresenta as considerações finais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

As mudanças climáticas são observadas pelo aumento da temperatura média nas superfícies e nos oceanos em comparação ao nível pré-industrial. Mais da metade desse aumento de temperatura da superfície ocorreu devido às emissões antropogênicas após a década de 1950. Dependendo do cenário considerado, as projeções do IPCC indicam um aumento de temperatura entre 1,5 e 4,8 °C até 2100 em relação ao final do século XIX. Por outro lado, os impactos do aquecimento global são variados, incluindo-se a alteração dos níveis de precipitação em determinadas regiões, a maior frequência de eventos climáticos extremos (secas, inundações, incêndios, entre outros), queda da produtividade de culturas agrícolas em regiões tropicais e temperadas, além de riscos à segurança alimentar devido à crescente demanda mundial por alimentos (IPCC, 2014).

As fontes de emissões de GEE também são diversas. Em 2010, por exemplo, o setor de energia foi responsável por 35% das emissões globais, a indústria por 21%, o setor de transportes por 14% e o UTMUTF por 11% (IPCC, 2014). No Brasil, as emissões por UTMUTF constituíram 22,3% do total em 2016 (BRASIL, 2018a). Elas representam, portanto, um importante foco das políticas brasileiras de mitigação.

O debate internacional acerca das mudanças climáticas e a CQNUMC influenciaram as mudanças institucionais e as políticas de UTMUTF que ocorreram no Brasil a partir da década de 1990. Em 1992, foram criados o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil (PPG7) para promover o uso sustentável das florestas brasileiras. Ambas representaram um importante avanço, visto que as políticas públicas, voltadas à Amazônia, resumiam-se à ocupação do território com incentivos ao desmatamento e à especulação fundiária (SILVA; SAMBUICHI, 2016).

Outro marco importante nas políticas de mitigação refere-se à criação do PPCDam em 2004. Pautado no fortalecimento da fiscalização e monitoramento, na criação de Unidades de Conservação (UCs), na homologação de Terras Indígenas (TIs), nas políticas focalizadas em municípios, entre outras ações, o PPCDam contribuiu para a redução da taxa de desmatamento em 80% entre 2004 e 2015 (BRASIL, 2018b).

Em 2009, o Brasil estabeleceu, na Conferência das Partes (COP15), a meta de reduzir as emissões projetadas para 2020 entre 36,1% e 38,9%. A fim de atingir este objetivo, planos setoriais de combate ao desmatamento e de fomento à agricultura de baixa emissão de carbono foram institucionalizadas por meio do PNMC, incluindo o PPCDam e o Plano ABC (MOTTA, 2011).

Dentre as metas que foram adotadas para reduzir as emissões de GEE, tanto no PPCDam como no Plano ABC, está inclusa a expansão dos SAFs como estratégia para fomentar a agricultura de baixa emissão de carbono. No Plano ABC, por exemplo, estipulou-se como objetivo o crescimento dos Sistemas ILFP e SAFs em 4 milhões de hectares (BRASIL, 2012).

Os programas que estabelecem a conexão direta entre demanda e oferta de bens agropecuários, principalmente aqueles em que o governo compra produtos de agricultores familiares, também fazem parte de um dos canais que pode ter fomentado a expansão dos SAFs nos últimos anos. Entre esses programas, inclui-se o PAA, em que o governo federal compra alimentos diretamente da agricultura familiar para combater a insegurança alimentar e formar estoques de alimentos básicos. Outro programa incluído é o PNAE, em que 30% dos alimentos escolares devem ser comprados da agricultura familiar. Além disso, esse programa apresenta diretrizes que priorizam a compra de produtos orgânicos e de produtos regionais, de modo que impulsionaram os mercados locais e, pela necessidade da diversificação da produção, os SAFs (PORRO; MICCOLIS, 2011).

Outro canal que pode ter influenciado o crescimento dos SAFs é o acesso ao crédito pelo Pronaf. Entre suas linhas, destaca-se o Pronaf Florestas que financia diretamente a implementação de SAFs. Ao mesmo tempo, essa linha subsidia investimentos que podem ser efetuados por meio de áreas agroflorestais, tais como a recuperação de áreas de proteção permanente, de reservas legais e de áreas degradadas. Além dessa linha, o Pronaf Agroecologia, que investe em sistemas agroecológicos ou orgânicos, pode ter contribuído para o aumento dos SAFs (PORRO; MICCOLIS, 2011).

De outro modo, o governo federal objetivou fomentar os SAFs por meio do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Entre eles, o programa Pro-Ambiente foi uma tentativa de remunerar agricultores que preservassem a vegetação e que seguissem princípios agroecológicos, todavia, foi encerrado por não apresentar mecanismos de remuneração dos produtores e de monitoramento das normas acordadas. De outra maneira, o Programa Bolsa Floresta é o de maior sucesso e o que pode ter estimulado o crescimento dos SAFs no Estado dos Amazonas, abrangendo em 2019 - conforme os dados da Fundação Amazônia Sustentável (FAS) - 11 milhões de hectares e 9427 famílias (PORRO; MICCOLIS, 2011; AMAZONAS, 2020).

Os SAFs, portanto, são unidades de terra onde há manejo sustentável do solo e combinações de espécies florestais (árvores, arbustos, palmeiras, entre outras espécies perenes lenhosas) com culturas agrícolas e/ou produção animal em um determinado espaço e período, distinguindo-se de sistemas simplificados a sistemas complexos, que apresentam alta intensidade de manejo e grande biodiversidade (MICCOLIS et al., 2016).

Assim, conforme Miccolis et al. (2016), os SAFs podem ser classificados em 5 categorias:

- Silvipastoris: quando há associação de pastagens e árvores em uma mesma área.
- Agrossilvipastoris: quando em uma mesma área há culturas agrícolas e espécies florestais que são simultâneas ou sequenciais à criação animal.
- Agrossilviculturais: quando há o consórcio de espécies florestais e culturas agrícolas anuais.
- Sucessionais: quando os SAFs estão em áreas de alta biodiversidade, de modo que o manejo da terra ocorre conforme a sucessão ecológica.
- Quintais florestais: quando a área de manejo localiza-se próxima à residência da propriedade rural, geralmente tem o objetivo de proporcionar segurança alimentar para a família que cultiva a terra.

Os SAFs também apresentam propriedades que constituem-se como adaptativos às mudanças climáticas e que geram benefícios econômicos, principalmente, aos pequenos agricultores. Por um lado, as mudanças climáticas podem reduzir a disponibilidade de água pela alteração dos níveis pluviométricos e pelo aumento da taxa de evapotranspiração, além de aumentarem a frequência de eventos climáticos como secas e inundações. Por outro lado, em relação às monoculturas, os SAFs propiciam um microclima que retém os recursos hídricos do solo e que é mais resiliente aos climas extremos à medida que reduzem a amplitude térmica. Consequentemente, beneficiam culturas mais sensíveis ao calor como o café e o cacau, culturas bastante disseminadas no Brasil. Os SAFs também proporcionam o controle natural de pragas e a fertilização do solo. Nesse sentido, junto a outros serviços ecossistêmicos, os SAFs podem aumentar a produtividade em relação à agricultura tradicional e diversificar a produção. O aumento da produtividade e diversificação podem incluir, por exemplo, a exploração comercial da floresta como modo de proteção às mudanças climáticas e como geradora de renda e subsistência (LASCO; DELFINO; ESPALDON, 2014).

Alguns estudos apontam que a mitigação da concentração de CO₂ na atmosfera, também, pode ser alcançada pelos SAFs, visto que estocam carbono na biomassa acima do solo, serrapilheira e, indiretamente, reduzem a pressão por novos desmatamentos (LASCO; DELFINO; ESPALDON, 2014). Em um destes estudos, Lasco, Evangelista e Pulhin (2010) analisaram o acordo de manejo florestal entre comunidades locais e o governo das Filipinas, pelo qual, representantes comunitários, comprometem-se em realizar o manejo florestal por 25 anos (renováveis por mais 25

anos) com a condição de que o gerenciamento da área florestal seguirá o princípio de geração de renda em conjunto com a proteção florestal. Deste modo, o governo filipino passou a fomentar as agroflorestas como alternativa à agricultura tradicional, resultando em 500 mil ha de SAFs nestas áreas de manejo florestal comunitário, no estoque de 25 milhões de toneladas de carbono e no sequestro anual de 2,7 milhões de toneladas de carbono pelos SAFs (LASCO; EVANGELISTA; PULHIN, 2010).

O trabalho de Villa et al. (2020) também aponta os SAFs como alternativa à agricultura tradicional, entretanto, em escala local na região amazônica. Conforme os autores, a agricultura tradicional na Amazônia consiste em queimar áreas entre 0,5 e 2 hectares e cultivá-las com monoculturas entre 2 e 4 anos, abandonando a área em seguida para a regeneração da floresta e da fertilidade do solo, todavia, apontam que a intensificação desse tipo de agricultura tem implicado na degeneração da floresta amazônica, resultando em perda de biodiversidade e de importantes serviços ecossistêmicos. Deste modo, Villa et al. (2020) sugerem que os SAFs sejam fomentados em áreas amazônicas com grande intensificação da agricultura tradicional, isto porque observaram - em análise de campo - que os SAFs podem estocar carbono em valores superiores à floresta secundária, além de fixar os produtores na terra e reduzir a pressão por novas áreas de cultivo.

Outro trabalho foi realizado por Branca et al. (2013) para avaliar o potencial de mitigação do Projeto de Competitividade Rural de Santa Catarina (SC Rural) e do Projeto de Desenvolvimento Rural Sustentável do Rio de Janeiro (Rio Rural). Ambos os projetos apresentam como objetivo a intensificação da agricultura sustentável, isto é, o crescimento da produtividade com preservação dos recursos naturais, incluindo - portanto - a expansão de SAFs. Utilizando o método *Ex-Ante Carbon - Balance Tool* (EX-ACT) desenvolvido pela FAO, que contabiliza as emissões de GEE e o sequestro de Carbono, Branca et al. (2013) estimaram que os SAFs apresentam a propensão de mitigar 8,8 milhões de toneladas de CO₂ equivalente ou 61,7% do potencial de mitigação em 20 anos do SC Rural. Além disso, os autores também avaliaram que os SAFs podem mitigar 0,27 milhões de toneladas de CO₂ equivalente ou 31,1% do potencial de mitigação em 20 anos do Rio Rural.

O estudo de Carmo Martinelli et al. (2019) no Assentamento Rural Santa Lúcia, no Estado do Mato Grosso do Sul, também buscou avaliar o potencial de mitigação de agroflorestas. Por meio de financiamento do Banco Mundial e do apoio de instituições públicas, os autores pontuam que os agricultores passaram a estabelecer SAFs, entre 2000 e 2005, para a recuperação de áreas degradadas e a melhora das condições de subsistência. Ainda em 2016, destacam que a Embrapa catalogou 5 SAFs do assentamento com áreas entre 0,5 e 2,5 ha, inventariando as espécies florestais por categoria, circunferência, altura e biomassa. Por fim, Branca et al. (2013) utilizaram o

método *Life Cycle Assessment* (LCA), que estima o impacto ambiental de produtos ou sistemas de ciclo de vida, e verificaram que os cinco SAFs emitiram GEE apenas na fase de implementação, todavia, apresentaram o potencial de mitigação entre -263 e -496 toneladas de CO₂ equivalente por hectare.

Ademais, a implementação de SAFs pode ser considerada como a adoção de uma nova tecnologia. Os autores Pattanayak et al. (2003) realizaram ampla revisão de literatura por meta-análise e consideraram alguns elementos para a adoção de SAFs como incentivos ou restrições econômicas para o produtor, categorizando-os como preferências, dotação de recursos, incentivos de mercado, fatores biofísicos e condições de incerteza. As preferências estariam relacionadas à propensão ao risco para a adoção de uma nova tecnologia ou à inclinação para a conservação dos recursos naturais. Como elas não são facilmente medidas, Pattanayak et al. (2003) mostram que variáveis de escolaridade, gênero e idade são recorrentemente utilizadas em estudos quantitativos.

A dotação de recursos são referentes à capacidade de implementação dos SAFs e é recorrentemente observada pela propriedade da terra e acesso ao crédito. Enquanto isso, os incentivos de mercado são verificados pela distância geográfica ao público consumidor e, em menor escala, por preços de insumos e bens finais nos mercados locais. Os fatores biofísicos referem-se, recorrentemente, à qualidade do solo, inclinação de terreno e tamanho de propriedade, de modo que condições adversas como a baixa fertilidade e a erosão do solo são positivamente correlacionadas com a adoção de SAFs. Ao mesmo tempo, a propriedade da terra, associações de produtores e recebimento de orientação técnica também são determinantes para a redução de riscos e, conseqüentemente, para a adoção de SAFs (PATTANAYAK et al., 2003).

Nesse contexto, um estudo de Pompeu et al. (2012) foi realizado para observar os determinantes de adoção de SAFs no município de Bragança, no leste do Estado do Pará. Para isso, a pesquisa considerou 53 pequenos proprietários e 62 áreas agroflorestais, os quais foram selecionados pela experiência prévia do município de Bragança com SAFs. Pelo método da Análise de Componentes Principais (ACP), Pompeu et al. (2012) identificaram quatro componentes que explicam, majoritariamente, a adoção de SAFs: recursos financeiros, o tipo de SAF, escolaridade e o gênero dos produtores. Nesse sentido, os autores destacam que os recursos financeiros mostraram-se significativos pelos fundos governamentais recebidos para a compra de sementes, fertilizantes e outros insumos, enquanto o tipo de SAF foi relevante por estabelecimentos comerciais receberem mais atenção do governo, já que são voltados ao mercado. Ainda, a escolaridade também foi determinante pelo acesso à informação e ao crédito, ao passo que o gênero foi importante por as famílias dessa região seguirem um modelo patriarcal, de modo que os homens priorizem SAFs comerciais

em detrimento de sistemas de subsistência (POMPEU et al., 2012).

Outro estudo de Schembergue et al. (2017) utilizou dados do Censo Agropecuário de 2006 para verificar a produtividade dos SAFs nos municípios brasileiros. Dessa maneira, empregaram o método PSM e foram definidos como grupos de comparação municípios adotantes e não-adotantes de SAFs. Para a estimação da probabilidade de cada município adotar agroflorestas, Schembergue et al. (2017) mostraram que eventos climáticos extremos, como temperatura média e nível pluviométrico, foram determinantes para a adoção de SAFs, indicando que este modo de produção pode estar sendo utilizado como adaptação às mudanças climáticas. Também, condicionantes como o acesso ao crédito, a propriedade da terra e a disponibilidade de informação, por meio de orientação técnica e associações, foram positivamente relacionados com a implementação de agroflorestas (SCHEMBERGUE et al., 2017).

2.1 OS SAFS NA AMAZÔNIA E NO CERRADO

Os SAFs, no Brasil, expandiram-se de 8.316.119,00 ha em 2006 para 13.863.254,00 ha em 2017, um crescimento de 67,00%. Considerando a proporção em relação à área total das propriedades rurais, a área agroflorestal (em ha) subiu de 2,50% em 2006 para cerca de 4,00% em 2017 (IBGE, 2006, 2017).

O número de estabelecimentos rurais, que contêm SAFs, passou de 305.825 para 490.647 entre os anos de 2006 e 2017, compondo 5,91% e 9,82% do total de estabelecimentos rurais nos anos supracitados, respectivamente. Além disso, destaca-se que a maioria dos SAFs está localizada em propriedades rurais de agricultura familiar, sendo 250.158 em 2006 e 380.854 em 2017, de modo que constituem 81,80% e 77,62% dos estabelecimentos rurais com SAFs, sucessivamente (IBGE, 2006, 2017).

Ainda, considerando a classificação de Rada, Helfand e Magalhães (2019) para o tamanho de propriedade, isto é, muito pequena (0-5 ha), pequena (5-20 ha), pequena-média (20-100 ha), média-grande (100-500 ha) e grande (acima de 500 ha), constata-se que 48,50 % das propriedades com SAFs são muito pequenas e pequenas, 39,00% são propriedades de tamanho pequeno-médio, 10,43% são média-grandes propriedades e somente, aproximadamente, 2,5% desses estabelecimentos possuem acima de 500 ha. Todavia, 45,56% da área agroflorestal nacional está em grandes propriedades, 26,20% em propriedades média-grandes, 22,87% pequena-médias e, finalmente, 5,27% da área dos SAFs está localizada em estabelecimentos muito pequenos ou pequenos (IBGE, 2017).

Nos municípios que possuem dados nos anos de 2006 e 2017 e que fazem parte do bioma amazônico, a área agroflorestal foi expandida de 1.719.637 ha em 2006 para 1.996.792 ha em 2017, representando um crescimento de cerca de 16%, valor

abaixo do aumento nacional. Ademais, a média da área agroflorestral em relação à área total das propriedades rurais foi de 3,74% em 2006 e 5,60% em 2017, portanto, proporções superiores à composição nacional. Além disso, observa-se nas Figuras 1 e 2 que os municípios no Estado do Mato Grosso foram os que apresentaram maior crescimento dos SAFs entre 2006 e 2017, enquanto o Estado do Maranhão (MA) é o que possui os municípios com maior proporção de áreas agroflorestrais no bioma da Amazônia (IBGE, 2006, 2017).

As propriedades rurais com SAFs decresceram de 49.293 em 2006 para 48.210 em 2017, representando uma redução de 2,20%. Ainda, os municípios do bioma amazônico também apresentam a característica da maioria dos estabelecimentos rurais com SAFs pertencerem à agricultura familiar, com a média de 75,00% em 2006 e 70,00% em 2017. Ademais, pode-se verificar na Figura 3 que o crescimento dos estabelecimentos rurais com SAFs foi irrisório na maioria dos municípios. Além disso, somente 7,90% das propriedades rurais possuíam SAFs em 2017, ressaltando, por meio da Figura 4, que os municípios do Estado do MA, do norte do Pará (PA) e leste do Amazonas (AM) são os que exibem maior proporção de estabelecimentos com áreas agroflorestrais (IBGE, 2006, 2017).

Quanto ao tamanho das propriedades em que estão localizadas as áreas agroflorestrais dos municípios amazônicos, em média 1,53% estão em estabelecimentos muito pequenos (0 - 5 ha), 6,13% em pequenos (5 - 20 ha), 35,91% em pequeno-médios (20 - 100 ha), 21,95% em médio-grandes (100 - 500 ha) e 8,63% em grandes estabelecimentos (mais de 500 ha). Enfim, do total de propriedades com SAFs, 7,99% são muito pequenas (0 - 5), 13,87% são pequenas (5 - 20), 41,77% são pequena-médias (20 - 100), 17,92% são média-grandes (100 - 500) e 7,77% são grandes propriedades (mais de 500 ha) (IBGE, 2017).

Nos municípios do Cerrado, a área agroflorestral aumentou de 2.815.718 ha em 2006 para 4.863.736 ha em 2017, correspondendo a um crescimento de 72,74%, portanto, acima do aumento porcentual nacional. Ainda, a proporção da área agroflorestral em relação ao total equivalia, em média, a 3,74% em 2006 e 5,60% em 2017. Verificando as Figuras 5 e 6, pode-se destacar que os maiores crescimentos porcentuais dos SAFs foram em alguns municípios do Mato Grosso do Sul (MS) e Mato Grosso (MT), enquanto os municípios com proporções dos SAFs mais significantes localizam-se, principalmente, no Estado do Piauí (PI) e na região oeste do Estado da Bahia (BA) (IBGE, 2006, 2017).

O número de propriedades no Cerrado com SAFs aumentou de 64.103 para 104.007 entre os anos de 2006 e 2017, apresentando um crescimento de 62,25%. Também, em média, 57,68% das propriedades com áreas agroflorestrais pertenciam à agricultura familiar em 2006 e 61,22% em 2017, de modo que os municípios do Cerrado

exibem um patamar mais baixo que o nacional nesse quesito. Além disso, 7,65% e 12,00% das propriedades rurais continham áreas agroflorestais nos anos de 2006 e 2017, respectivamente. Desse modo, pode-se ressaltar que, em média, os municípios do Cerrado adotam em maior escala os SAFs. Destaca-se também, pelas Figuras 7 e 8, que o aumento de estabelecimentos com SAFs não foi concentrado em Estados ou regiões específicas, entretanto, pode-se afirmar que os municípios com maior proporção dessas propriedades concentram-se na região do MATOPIBA, acrônimo que engloba os Estados do Maranhão, Piauí, Piauí e Bahia, os quais apresentam intensificação e expansão da fronteira agrícola por meio da produção de grãos (IBGE, 2006, 2017).

As áreas agroflorestais no Cerrado estão distribuídas, em média, 0,93% em propriedades de 0 a 5 ha, 6,79% de 5 a 20 ha, 26,31% de 20 a 100 ha, 24,31% de 100 a 500 ha e 13,22% de 500 ou mais hectares. Enfim, os estabelecimentos com SAFs estão distribuídos da seguinte forma: 7,33% em propriedades de 0 a 5 ha, 17,62% de 5 a 20 ha, 37,64% de 20 a 100 ha, 19,30% de 100 a 500 ha e 8,59% em estabelecimentos de 500 ou mais ha (IBGE, 2017).

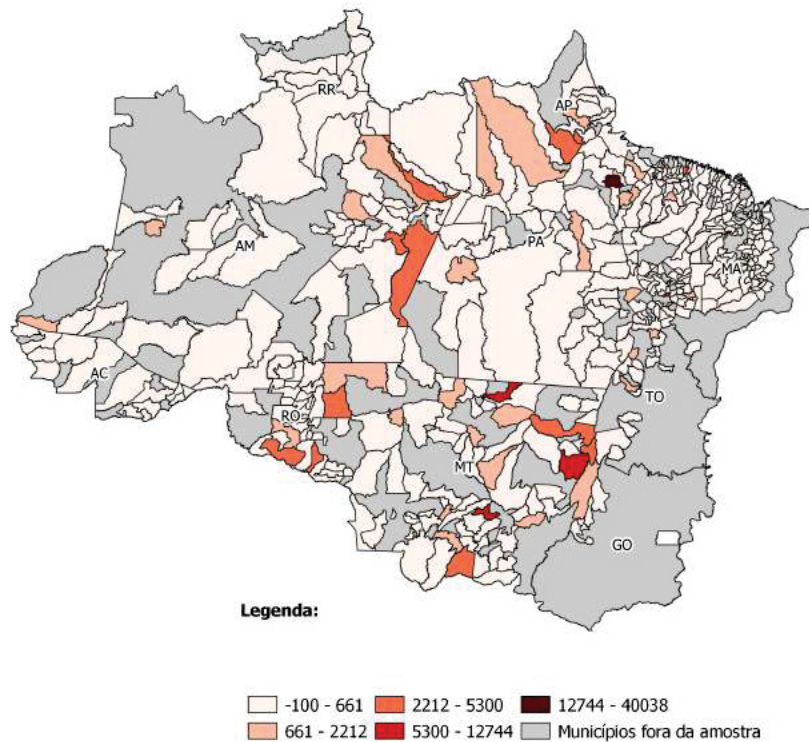


FIGURA 1 – Crescimento porcentual da área agroflorestal - Amazônia - 2006 a 2017
 Fonte: elaboração própria com dados dos Censos Agropecuários do IBGE de 2006 e 2017.

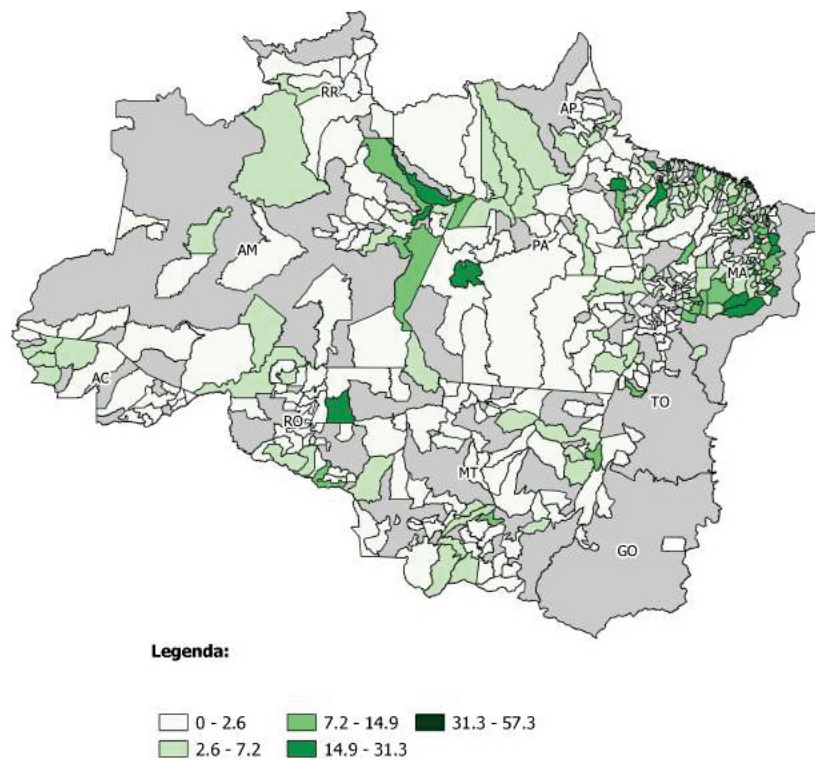


FIGURA 2 – Área agroflorestal em hectares (% da área total) - Amazônia - 2017
 Fonte: elaboração própria com dados do Censo Agropecuário do IBGE de 2017.

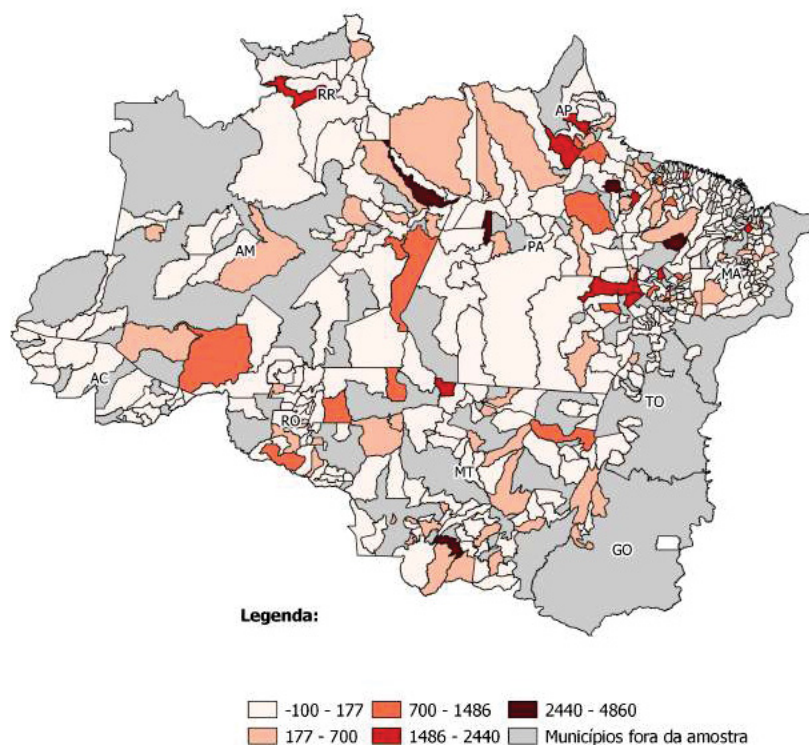


FIGURA 3 – Crescimento porcentual de estabelecimentos com SAFs - Amazônia - 2006 a 2017

Fonte: elaboração própria com dados dos Censos Agropecuários do IBGE de 2006 e 2017

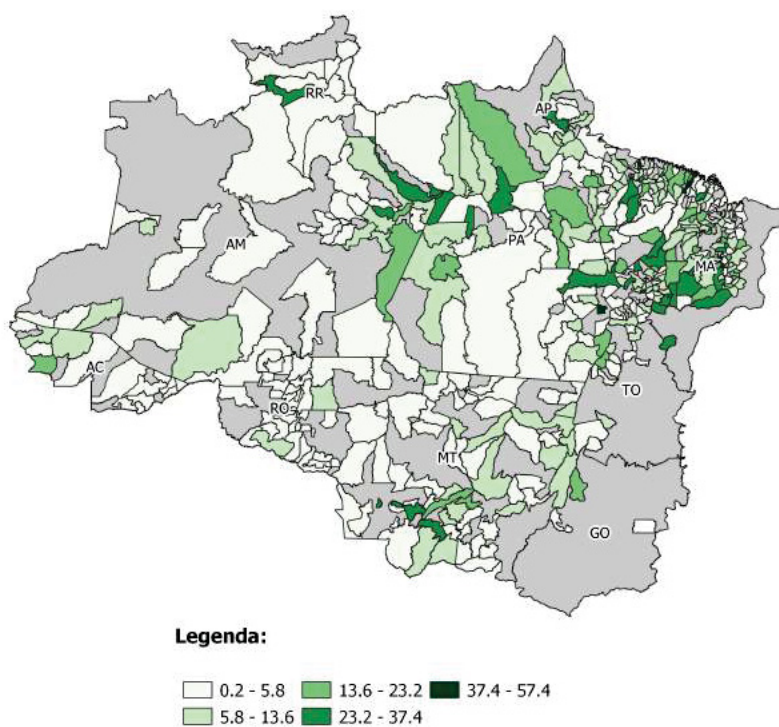


FIGURA 4 – Percentual de estabelecimentos com área agroflorestal - Amazônia - 2017

Fonte: elaboração própria com dados do Censo Agropecuário do IBGE de 2017.

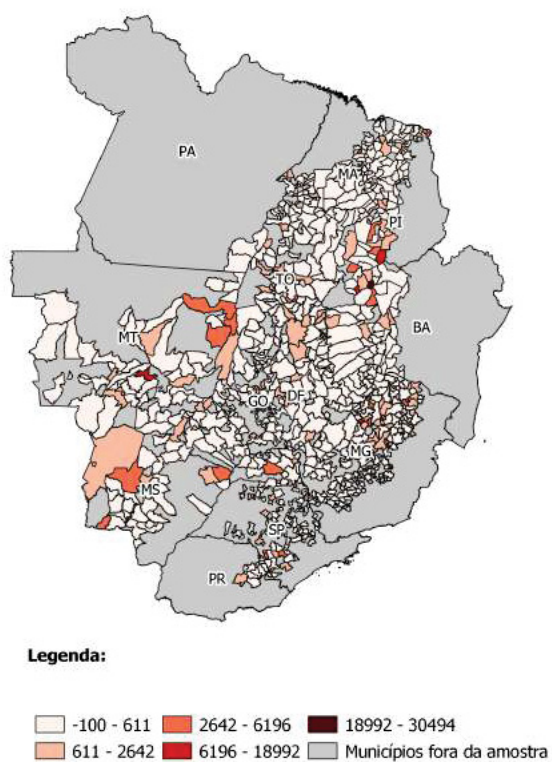


FIGURA 5 – Crescimento porcentual da área agroflorestal - Cerrado - 2006 a 2017
 Fonte: elaboração própria com dados dos Censos Agropecuários do IBGE de 2006 e 2017.

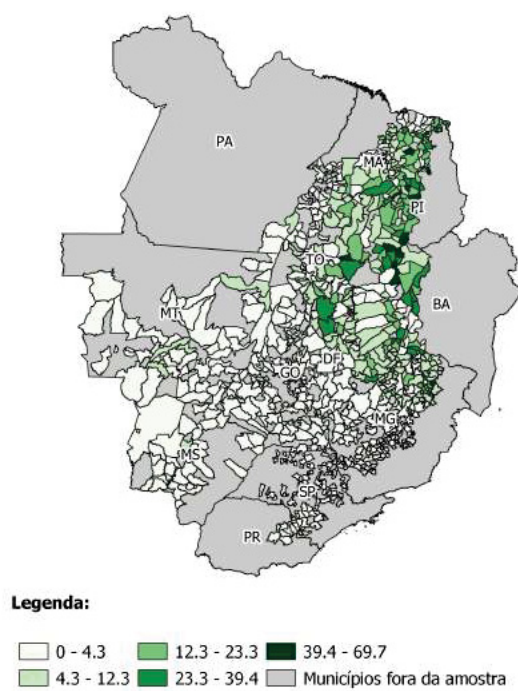


FIGURA 6 – Área agroflorestal em hectares (% da área total) - Cerrado - 2017.
 Fonte: elaboração própria com dados do Censo Agropecuário do IBGE de 2017.

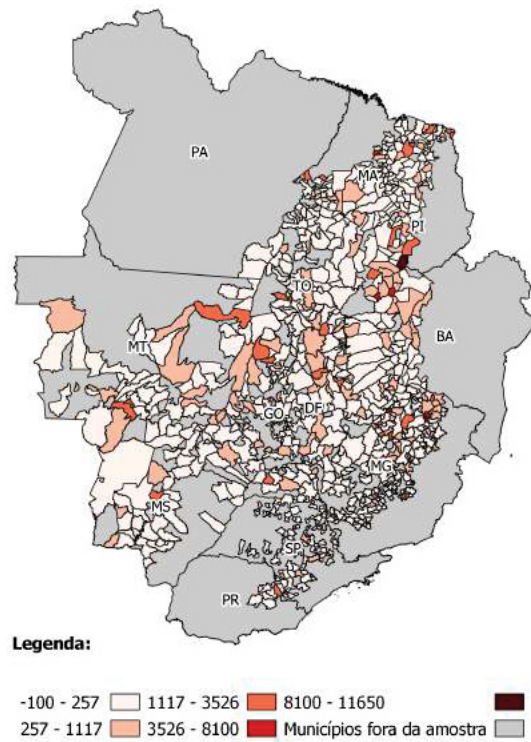


FIGURA 7 – Crescimento percentual de estabelecimentos com SAFs - Cerrado - 2006 a 2017

Fonte: elaboração própria com dados dos Censos Agropecuários do IBGE de 2006 e 2017.

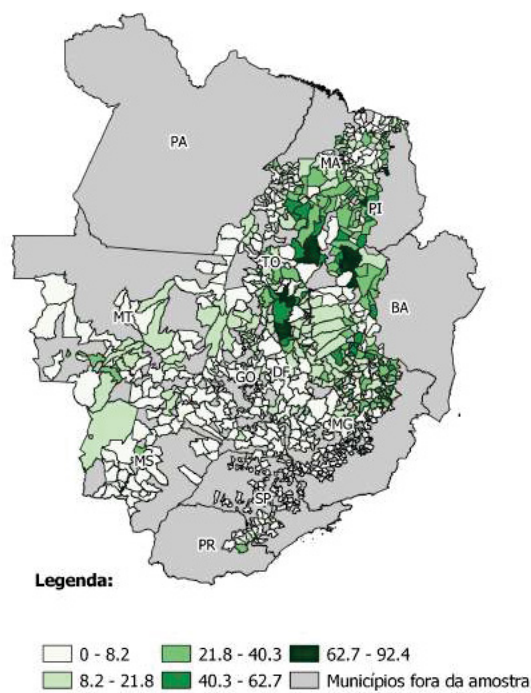


FIGURA 8 – Percentual de estabelecimentos com área agroflorestal - Cerrado - 2017.

Fonte: elaboração própria com dados do Censo Agropecuário do IBGE de 2017.

3 METODOLOGIA E DADOS

Esta dissertação tem como objetivo avaliar os efeitos dos SAFs, quanto à redução do desmatamento e das emissões de CO₂, em municípios da Amazônia e do Cerrado. Além disso, este estudo busca agregar mais evidências à literatura de mitigação das emissões de GEE, a qual é embasada, recorrentemente, em métodos não-econométricos. Portanto, esta seção apresenta a estratégia de identificação do método PSM utilizado nesta dissertação, assim como as fontes dos dados coletados para estimá-lo.

3.1 ESTRATÉGIA DE IDENTIFICAÇÃO

Um dos métodos para estimar o impacto dos SAFs, no desmatamento e nas emissões de CO₂, é o dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Entretanto, a sua diferença de médias, entre o grupo de municípios tratados e o grupo de controle, pode incorrer em viés de seleção por variáveis não-observáveis influenciarem a composição dos municípios que expandiram os SAFs de 2006 a 2017. Deste modo, foi utilizado o método PSM como alternativa para reduzir o viés de seleção e avaliar o impactos dos SAFs nas variáveis de interesse.

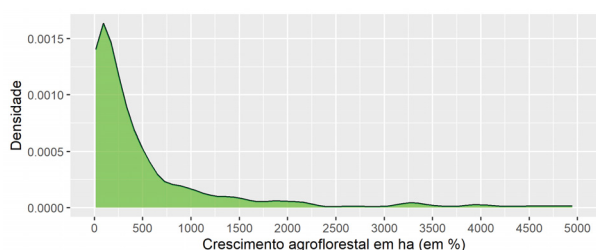
O método PSM, portanto, foi aplicado para comparar um grupo de municípios que expandiram os SAFs de 2006 a 2017, e um grupo contrafactual de municípios com características semelhantes e que não aumentaram os SAFs no período de análise. Ainda, não foi encontrado na literatura qual o percentual de crescimento ou quantos hectares são necessários para que os SAFs tenham algum efeito sobre o desmatamento e nas emissões de CO₂. Sendo assim, foram considerados quatro tratamentos alternativos para conferir mais robustez aos resultados, todos compreendendo o intervalo de 2006 a 2017:

- 1º Tratamento: municípios com crescimento dos SAFs acima de 0 hectares. As distribuições do primeiro tratamento podem ser observadas nas Figuras 9 e 10.
- 2º Tratamento: municípios com aumento percentual dos SAFs superior ao primeiro quartil. Dessa forma, o primeiro quartil, da amostra de desmatamento, foi de 68% e o primeiro quartil, da amostra de emissões, foi de 71%. As distribuições do segundo tratamento podem ser observadas nas Figuras 11 e 12.
- 3º Tratamento: municípios com aumento percentual dos SAFs superior ao segundo quartil. Dessa forma, o segundo quartil, da amostra de desmatamento,

foi de 236% e o segundo quartil, da amostra de emissões, foi de 239%. As distribuições do terceiro tratamento podem ser observadas nas Figuras 13 e 14.

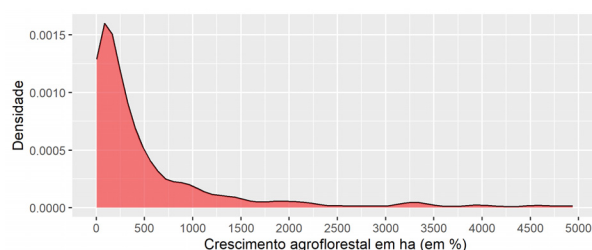
- 4º Tratamento: municípios com aumento porcentual dos SAFs superior ao terceiro quartil. Dessa forma, o terceiro quartil, da amostra de desmatamento, foi de 602% e o terceiro quartil, da amostra de emissões, foi de 632%. As distribuições do quarto tratamento podem ser observadas nas Figuras 13 e 14.

FIGURA 9 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: desmatamento. 1º Tratamento.



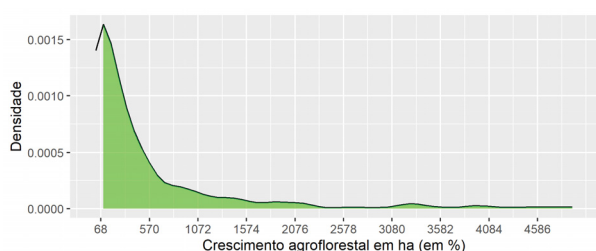
Fonte: elaboração própria.

FIGURA 10 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: emissões. 1º Tratamento.



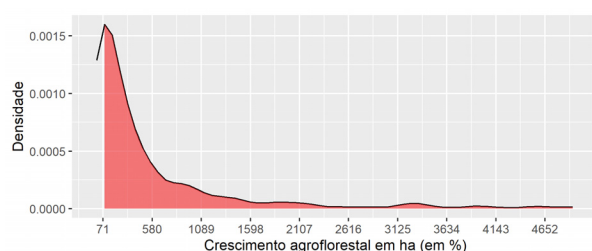
Fonte: elaboração própria.

FIGURA 11 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: desmatamento. 2º Tratamento.



Fonte: elaboração própria.

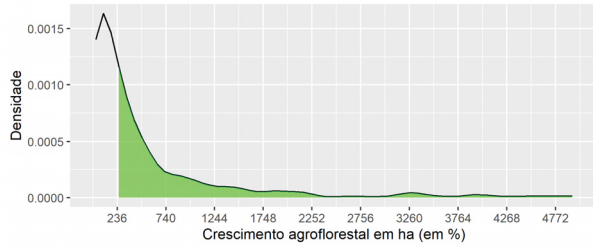
FIGURA 12 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: emissões. 2º Tratamento.



Fonte: elaboração própria.

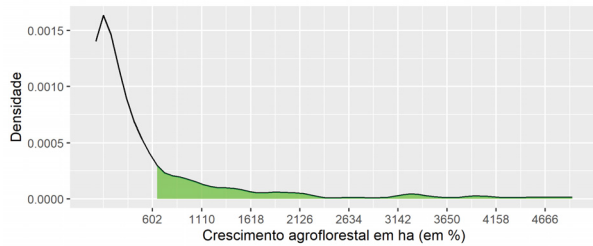
O desmatamento como variável de interesse decorre dos SAFs demandarem menos terras agricultáveis e, possivelmente, reduzirem a pressão sobre as florestas nativas (LASCO; DELFINO; ESPALDON, 2014). Em razão de séries temporais de áreas agroflorestais serem inexistentes e, conseqüentemente, não ser possível traçar trajetórias de comparação para um método de Diferenças em Diferenças, este estudo utilizou o desmatamento nos anos de 2017 a 2019 como cenário pós-tratamento.

FIGURA 13 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: desmatamento. 3º Tratamento.



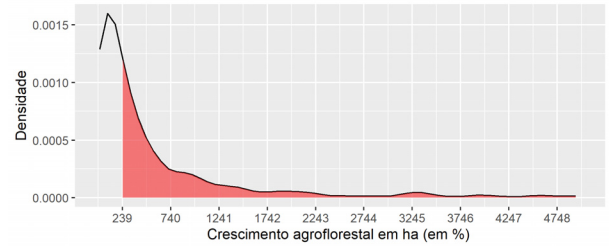
Fonte: elaboração própria.

FIGURA 15 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: desmatamento. 4º Tratamento.



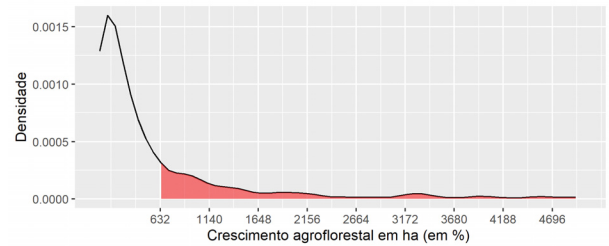
Fonte: elaboração própria.

FIGURA 14 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: emissões. 3º Tratamento.



Fonte: elaboração própria.

FIGURA 16 – Distribuição da expansão agroflorestal. Variável de interesse: emissões. 4º Tratamento.



Fonte: elaboração própria.

Os dados do INPE compreendem incrementos de desmatamento¹ anuais em km², podendo-se dividir os municípios em grupo de tratamento e de controle. Entretanto, a amostra desses municípios apresenta grande heterogeneidade de extensões territoriais, de biomas e de atividades econômicas que intensificam o desmatamento. Dessa maneira, este trabalho normalizou o incremento de desmatamento, por município, para transformar valores absolutos em valores que exprimem a variação do desflorestamento para cada município, tornando-os, portanto, comparáveis por seus desvios-padrão. Assim, o desmatamento no ano de 2017 é representado por:

$$YN_{i17} = \frac{Y_{i17} - \bar{Y}_i}{sd(Y_i)} \quad (3.1)$$

em que YN_{i17} é o desmatamento normalizado em 2017 para o município i , Y_{i17} é o incremento de desmatamento em km² para o município i no ano de 2017, \bar{Y}_i é a média

¹ O incremento de desmatamento anual, em km², é medido entre 1 Agosto do ano $t - 1$ e 31 de Julho do ano t .

de desmatamento anual de 2008 a 2019 no município i , e $sd(Y_i)$ é o desvio-padrão de desmatamento anual entre 2008 e 2019 no município i . Também, o desmatamento normalizado no ano de 2018 é dado por:

$$YN_{i18} = \frac{Y_{i18} - \bar{Y}_i}{sd(Y_i)} \quad (3.2)$$

em que YN_{i18} é o desmatamento normalizado em 2018 para o município i , e Y_{i18} é o incremento de desmatamento em km^2 para o município i no ano de 2018. Enfim, o desflorestamento em 2019 pode ser determinado como:

$$YN_{i19} = \frac{Y_{i19} - \bar{Y}_i}{sd(Y_i)} \quad (3.3)$$

em que YN_{i19} é o desmatamento normalizado em 2019 para o município i , e Y_{i19} é o incremento de desmatamento em km^2 para o município i no ano de 2019.

As emissões de CO_2 como variável de interesse transcorre do potencial de mitigação, dos SAFs, apontado pelos trabalhos de Lasco, Delfino e Espaldon (2014), Branca et al. (2013), Carmo Martinelli et al. (2019) e Villa et al. (2020). Devido às mesmas razões indicadas para o desmatamento, este trabalho delimitou as emissões de 2017 a 2019 como cenário pós-tratamento. Ainda, os municípios dessa amostra também apresentam heterogeneidade em questões territoriais ou atividades econômicas que podem influenciar as emissões de GEE, portanto, essa variável-resposta foi normalizada da seguinte maneira no ano de 2017:

$$ZN_{i17} = \frac{Z_{i17} - \bar{Z}_i}{sd(Z_i)} \quad (3.4)$$

em que ZN_{i17} é a emissão normalizada em 2017 para o município i , Z_{i17} é a emissão de milhões de toneladas de CO_2 bruto no município i e ano de 2017, \bar{Z}_i é a média das emissões de CO_2 de 2006 a 2019 no município i , e $sd(Z_i)$ é o desvio-padrão de emissões anuais de CO_2 de 2006 a 2019 no município i . Também, as emissões no ano de 2018 podem ser definidas por:

$$ZN_{i18} = \frac{Z_{i18} - \bar{Z}_i}{sd(Z_i)} \quad (3.5)$$

em que ZN_{i18} é a emissão normalizada em 2018 para o município i , e Z_{i18} é a emissão de milhões de toneladas de CO_2 bruto, no município i , para o ano de 2018. Ainda, as emissões no ano de 2019 são representadas por:

$$ZN_{i19} = \frac{Z_{i19} - \bar{Z}_i}{sd(Z_i)} \quad (3.6)$$

em que a variável ZN_{i19} representa a emissão normalizada em 2019 para o município i e Z_{i19} as emissões brutas de CO₂ em 2019 para o mesmo município i .

Finalmente, apresenta-se, formalmente, o método *Propensity Score Matching* aplicado neste estudo. A fim de simplificação, as variáveis de interesse YN_{i17} , YN_{i18} , YN_{i19} , ZN_{i17} , ZN_{i18} e ZN_{i19} são generalizadas como $Y_i(T_i)$, e T_i assume dois estados possíveis para cada um dos tratamentos indicados no início desta seção: 1 se o município i sofreu alguma intervenção para a expansão dos SAFs e 0 se o município i não recebeu nenhuma espécie de tratamento para o crescimento dos SAFs. Dessa maneira, o impacto dos SAFs nas variáveis de interesse representadas por $Y_i(T_i)$ ou, formalmente, o efeito denominado como Efeito Médio de Tratamento sobre os Tratados (EMTT) é dado por:

$$EMTT = E[Y_i(1)|T_i = 1] - E[Y_i(0)|T_i = 1] \quad (3.7)$$

em que o EMTT é a diferença entre a média dos municípios no cenário de uma intervenção para a expansão dos SAFs, e a média para esses mesmos municípios no cenário em que não receberam nenhum tipo de tratamento para difundirem os SAFs. Entretanto, não é factível determinar o resultado potencial $Y_i(0)$ para municípios que aumentaram os SAFs entre 2006 e 2017, assim como não é possível determinar $Y_i(1)$ no cenário inverso. Desse modo, determina-se o EMTT' com um grupo contrafactual de municípios que, seguramente, não expandiram os SAFs de 2006 a 2017:

$$EMTT' = E[Y_i(1)|T_i = 1] - E[Y_i(0)|T_i = 0] \quad (3.8)$$

Todavia, o grupo contrafactual, sem um bom critério de seleção, pode não ser um grupo de controle fidedigno para estimar o EMTT, isto é:

$$\begin{aligned} EMTT' &= E[Y_i(1)|T_i = 1] - E[Y_i(0)|T_i = 1] \\ &+ E[Y_i(0)|T_i = 1] - E[Y_i(0)|T_i = 0] = ATT + V \end{aligned} \quad (3.9)$$

em que $V = E[Y_i(0)|T_i = 1] - E[Y_i(0)|T_i = 0] \neq 0$ é o viés de seleção. Este viés de seleção, conforme mencionado no início desta seção, decorre da hipótese de municípios tratados apresentarem características não-observáveis que influenciam na decisão de

expandir os SAFs, ou seja, a intervenção seria não-aleatória e, conseqüentemente, não seria possível isolar os efeitos da expansão dos SAFs nas variáveis de interesse.

O método PSM, portanto, tem como objetivo principal estimar o EMTT e apresenta, como hipótese principal, que as características observáveis X_i possuem todas as informações disponíveis sobre o resultado potencial $Y_i(0)$ na ausência de tratamento, e na decisão dos municípios (como indivíduos neste estudo) participarem ou não do tratamento. Ao controlar as variáveis observáveis X_i que estão relacionadas ao resultado potencial, na ausência de tratamento, e à decisão de participação na intervenção, $Y_i(0)$ torna-se independente de T_i e, assim, mitiga o viés de seleção. Esta hipótese, indicada como ignorabilidade ou não-confundimento, é dada por:

$$Y_i(0) \perp T_i | X_i \quad (3.10)$$

Esta hipótese indica que os resultados do grupo de controle são bons contra-factuais para os municípios tratados, caso não houvessem expandido os SAFs, e se possuírem as mesmas características observáveis X_i . Para estimar o EMTT, portanto, é necessário que cada município no grupo de tratamento tenha um par no grupo de controle. Para tanto, também é preciso que exista uma área do vetor X que contemple os municípios dos grupos de tratamento e de controle. Esta segunda condição para realizar o pareamento é conhecida como hipótese de sobreposição e é formalizada como:

$$0 < Pr[T_i = 1 | X_i] < 1 \quad (3.11)$$

Todavia, à medida que são adicionadas variáveis novas ao vetor X , mais complexo fica o pareamento entre todos os municípios do grupo de tratamento e de controle. Dessa maneira, Rosenbaum e Rubin (1983) propuseram que o pareamento fosse realizado por meio de uma função de X que funcionaria como um resumo das características observáveis de cada indivíduo participante do estudo. Esta função ficou conhecida como *propensity score* e, geralmente, é estimada por um modelo *probit* ou *logit*. Neste trabalho, foi utilizado um modelo *logit*, o qual é dado por:

$$\begin{aligned} \hat{P}(X_i) = & \beta_1 + \beta_2 ORIET_i + \beta_3 PROP_i + \beta_4 RHID_i + \beta_5 FINANC_i + \beta_6 EDUC_i \\ & + \beta_7 ASSOC_i + \beta_8 GEN_i + \beta_9 POT.BAI_XO_i + \beta_{10} PREC_i + \\ & \beta_{11} PREC_i^2 + \beta_{12} TEMP_i + \beta_{13} TEMP_i^2 \end{aligned} \quad (3.12)$$

em que $\hat{P}(X_i)$ é a probabilidade do município i haver expandido os SAFs entre 2006 e 2017, a qual está condicionada às variáveis de orientação técnica (ORIET), propriedade

da terra (PROP), recursos hídricos (RHID), financiamento (FINAC), educação (EDUC), participação em associação (ASSOC), gênero (GEN), baixo potencial agrícola do solo (POT.BAIXO), precipitação (PREC) e temperatura (TEMP), todas descritas no Quadro 1.

O pareamento com o *propensity score* pode ser realizado por diversas técnicas, tais como: vizinho mais próximo (*nearest neighbor matching*), kernel (*kernel matching*), vizinhos dentro de um raio fixo (*radius matching*) e estratificação (*stratification matching*). Este trabalho realizou os quatro tipos de pareamento, todavia, focou nos resultados obtidos pelo Vizinho Mais Próximo e Kernel, pois eles apresentaram as melhores medidas de ajuste e, também, são os mais utilizados na literatura.

O Vizinho Mais Próximo é um estimador bastante direto. Por esse método, cada município do grupo de tratamento é pareado com um município do grupo de controle que obteve um *propensity score* bastante próximo. Esse método também permite variantes para controlar o *trade-off* entre a variância e o viés do EMTT. Desse modo, pode-se permitir o pareamento com reposição ou sem reposição, isto é, pareamentos nos quais os municípios podem ser pareados mais de uma vez ou somente uma vez, respectivamente. Ainda, distâncias máximas entre os escores de propensão, conhecidas como *caliper*, podem ser estabelecidas para efetivar o pareamentos entre os municípios do grupo de tratamento e de controle. Conforme Caliendo e Kopeinig (2008), tanto a reposição como o *caliper* melhoram a qualidade do pareamento, e reduzem o viés do resultado à medida que impedem que indivíduos com escores de propensão muito diferentes sejam pareados. Portanto, neste trabalho foram realizados pareamentos com reposição, com 1 e 2 vizinhos mais próximos e, conforme sugerido por Olmos e Govindasamy (2015), *caliper* de 0,25 e 0,10. Nesses pareamentos, foram feitas análises de sensibilidade pelo método *Wilcoxon's signed rank test*, a fim de verificar a presença de vieses que não foram eliminados totalmente pelos pareamentos.

Em oposição ao Vizinho Mais Próximo que utiliza apenas alguns municípios do grupo de controle, o método de Kernel usa médias ponderadas de todos os municípios do grupo de controle para construir o resultado potencial $Y_i(0)$ na ausência de tratamento. Destaca-se que essa ponderação é determinada pela distância entre o escore de propensão de um município que expandiu os SAFs, e aqueles dos municípios que não aumentaram os SAFs entre 2006 e 2017. Segundo Caliendo e Kopeinig (2008), a vantagem desse método consiste na menor variância dos resultados por utilizar mais informações do grupo de controle.

3.2 DADOS

Os dados foram selecionados conforme o interesse em verificar o impacto da expansão dos SAFs no desmatamento e nas emissões de CO₂, tanto no Cerrado como

na Amazônia. O desmatamento foi coletado no Programa de Cálculo do Desflorestamento (Prodes), plataforma do INPE, em que os incrementos anuais de desmatamento são informados em km² desde 1988 para a Amazônia, e desde 2001 para o Cerrado. Também, esses dados são subclassificados em biomas (Amazônia, Amazônia Legal e Cerrado), Estados que compõem estas áreas e municípios, sendo este último estrato o que foi utilizado nesta dissertação.

As emissões de CO₂ foram coletadas como dados espaciais desenvolvidos pelo INPE, os quais estão subdivididos pelo bioma do Cerrado e da Amazônia, o primeiro com início em 2001 e o segundo em 2002. A variável mais utilizada, na literatura de mitigação das mudanças climáticas, é a de emissões líquidas de CO₂, entretanto, este trabalho optou pelas emissões brutas de CO₂² pela indisponibilidade daqueles dados para o Cerrado. Ainda, eles estão disponibilizados somente em *shapefiles* que compreendem inteiramente os dois biomas, isto é, sem estratificá-los em regiões, Estados ou municípios. Dessa maneira, este estudo utilizou o *software* QGIS para calcular as emissões de CO₂ para cada município, somando as emissões de CO₂ que estavam sobrepostas em seus limites territoriais e, para polígonos de emissões localizados em divisas, somou-se o valor proporcional à área de cada município da região de fronteira.

Na amostra dessa dissertação, foram utilizados os municípios que apresentam dados completos de desmatamento de 2008 a 2017, que possuem dados espaciais completos do ano de 2006 a 2017, e que têm área agroflorestal (em hectares) nos Censos Agropecuários do IBGE de 2006 e de 2017. Para as variáveis de desmatamento e de emissões de CO₂, as amostra foram compostas por 1019 municípios e 1196 municípios, respectivamente. Já a delimitação dos grupos de tratamento e de controle, de acordo com a variável de resposta e o tratamento especificado na seção anterior, ficou composto conforme a Tabela 1.

TABELA 1 – Composição dos grupos de tratamento e de controle

| Tratamento: | Desmatamento (YN) | | Emissões de CO ₂ (ZN) | |
|---|-------------------|----------|----------------------------------|----------|
| | Tratamento | Controle | Tratamento | Controle |
| Crescimento acima de 0 hectares. | 560 | 459 | 640 | 556 |
| Crescimento porcentual acima do 1º quartil. | 406 | 613 | 458 | 738 |
| Crescimento porcentual acima do 2º quartil. | 271 | 748 | 306 | 890 |
| Crescimento porcentual acima do 3º quartil. | 136 | 883 | 153 | 1043 |

Fonte: elaboração própria.

QUADRO 1 – Descrição das variáveis

² Os dados do INPE incluem, exclusivamente, as emissões de CO₂ por mudanças de cobertura da terra.

| Variável | Tipo | Descrição | Período | Fonte |
|---------------|----------|--|-----------------------|--|
| ORIET | Numérica | Proporção de propriedades que receberam orientação técnica. | 2017 | Censo Agropecuário de 2017 (IBGE) |
| ASSOC | Numérica | Proporção de produtores que participam de associação. | 2017 | Censo Agropecuário de 2017 (IBGE) |
| EDUC | Numérica | Proporção de produtores que possuem pelo menos o 2º grau completo. | 2017 | Censo Agropecuário de 2017 (IBGE) |
| GEN | Numérica | Proporção de mulheres produtoras. | 2017 | Censo Agropecuário de 2017 (IBGE) |
| PROP | Numérica | Proporção de propriedades que o produtor é proprietário da terra. | 2017 | Censo Agropecuário de 2017 (IBGE) |
| FINANC | Numérica | Proporção das propriedades que receberam financiamento do Pronaf B e V. | 2017 | Censo Agropecuário de 2017 (IBGE) |
| RHID | Numérica | Proporção de propriedades com recursos hídricos (nascentes, riachos, cisternas, etc.). | 2017 | Censo Agropecuário de 2017 (IBGE) |
| POT.BAIXO | Binomial | 1 = Solo com baixo potencial agrícola, 0 = Outra potencialidade agrícola. | 2010 | Atlas Nacional do IBGE |
| PREC | Numérica | Média de 30 anos da precipitação em mm-dia. | jan. 1984 - dez. 2013 | Power Project |
| TEMP | Numérica | Média de 30 anos da temperatura 2m acima da superfície. | jan. 1984 - dez. 2013 | Power Project |
| Y | Numérica | Incremento anual de desmatamento em km ² | 2008 - 2017 | Censo Agropecuário de 2006 e 2017 (IBGE) |
| Z | Numérica | Emissões brutas de MtonCO ₂ de 2ª Ordem | 2006 - 2017 | Censo Agropecuário de 2006 e 2017 (IBGE) |
| 1º Tratamento | Binomial | 1 = Expansão dos SAFs acima de 0 ha, 0 = Redução dos SAFs abaixo de 0 ha. | 2006 a 2017 | Censo Agropecuário de 2006 e 2017 (IBGE) |
| 2º Tratamento | Binomial | 1 = Expansão dos SAFs (%) acima do 1º quartil, 0 = Expansão dos SAFs (%) abaixo do 1º quartil. | 2007 a 2017 | Censo Agropecuário de 2006 e 2017 (IBGE) |

| | | | | | |
|---------------|----------|--|--------------|---|--|
| 3° Tratamento | Binomial | 1 = Expansão dos SAFs (%) acima do 2° quartil, 0 = Expansão dos SAFs (%) abaixo do 2° quartil. | 2008 2017 | a | Censo Agropecuário de 2006 e 2017 (IBGE) |
| 4° Tratamento | Binomial | 1 = Expansão dos SAFs (%) acima do 3° quartil, 0 = Expansão dos SAFs (%) abaixo do 3° quartil. | 2009 2017 | a | Censo Agropecuário de 2006 e 2017 (IBGE) |

Fonte: elaboração própria.

No Quadro 1, observa-se a descrição das covariáveis que foram utilizadas para estimar a probabilidade de expansão dos SAFs. Como os municípios são heterogêneos em termos de extensões territoriais, de números de propriedades rurais e de produtores agropecuários, optou-se por empregar variáveis com valores proporcionais em relação ao total que foi registrado no Censo Agropecuário de 2017.

Para estimar o *logit*, referente à probabilidade de um município haver expandido os SAFs, foram consideradas como covariáveis que se enquadrassem na categorização de Pattanayak et al. (2003) para a adoção de agroflorestas. Desse modo, essas covariáveis são classificados do seguinte modo:

- Preferências dos produtores: EDUC e GEN. A maioria dos estudos com resultados estatisticamente significantes encontraram relação positiva entre escolaridade e a adoção de SAFs, de outra maneira, a relação foi negativa com os produtores do gênero feminino. Desse modo, a hipótese é a de que EDUC e GEN tenham relação positiva e negativa com a expansão dos SAFs, respectivamente.
- Dotação de recursos: FINANC. Espera-se que o Pronaf aumente a probabilidade de expansão dos SAFs, apesar de poucos trabalhos haverem utilizado esta variável em suas análises.
- Risco e incerteza: PROP, ORIET e ASSOC. Grande parte dos trabalhos avaliados por Pattanayak et al. (2003) indicam relação positiva entre elas e a adoção de SAFs. Sendo assim, espera-se que elas impactem positivamente a expansão dos SAFs nos municípios deste estudo.
- Biofísicas: POT.BAIXO. Alguns estudos indicam que solos danificados aumentam a adesão à produção agroflorestal, portanto, é esperado que a relação entre POT.BAIXO e a expansão dos SAFs seja negativa.

As variáveis climatológicas foram incorporadas como indicadores de incerteza gerada pelas mudanças climáticas e como necessidade de adaptação da produção

TABELA 2 – Análise descritiva das variáveis

| Variável | Mínimo | 1º Quartil | Mediana | Média | 3º Quartil | Máximo |
|----------|--------|------------|---------|-------|------------|--------|
| ORIET | 0,00 | 5,40 | 12,99 | 19,57 | 28,07 | 96,07 |
| ASSOC | 0,00 | 3,49 | 10,81 | 16,49 | 24,70 | 85,08 |
| EDUC | 2,50 | 15,01 | 24,07 | 26,63 | 36,35 | 79,17 |
| GEN | 3,22 | 12,09 | 15,92 | 16,69 | 19,98 | 51,22 |
| PROP | 7,76 | 73,93 | 85,67 | 80,82 | 92,41 | 100,00 |
| FINANC | 0,00 | 4,49 | 7,75 | 8,92 | 12,12 | 45,42 |
| RHID | 17,07 | 78,06 | 90,54 | 84,15 | 96,40 | 100,00 |
| PREC | 1,68 | 3,62 | 4,01 | 4,25 | 4,84 | 8,17 |
| TEMP | 18,09 | 23,09 | 24,39 | 24,70 | 26,56 | 27,70 |

Nota: a análise descritiva foi gerada com a amostra das emissões de CO₂.

Fonte: elaboração própria.

agrícola, seja para fins comerciais ou para subsistência. A seleção foi baseada no trabalho de Schembergue et al. (2017) e foram utilizados dados de janeiro de 1984 a dezembro de 2013 da base *Power Project* (SPARKS, 2019).

Ainda, verifica-se na Tabela 2 que a amostra, para os municípios do Cerrado e da Amazônia, apresenta uma média elevada de propriedades com recursos hídricos e de produtores que possuem propriedade da terra, 90,54% e 85,67%, sucessivamente. Enquanto isso, as variáveis ORIET, ASSOC, EDUC, GEN e FINANC possuem médias abaixo de 30%, as quais - apesar de acompanharem as médias do país - podem contribuir para uma menor adesão aos SAFs.

Finalmente, as Figuras 17 e 18 apresentam a distribuição geográfica dos valores normalizados de desmatamento e das emissões de CO₂. Dessa maneira, observa-se que o desmatamento e as emissões estão concentrados, em maior intensidade, no sul do Estado do Amazonas, norte do Pará e na região do MATOPIBA.

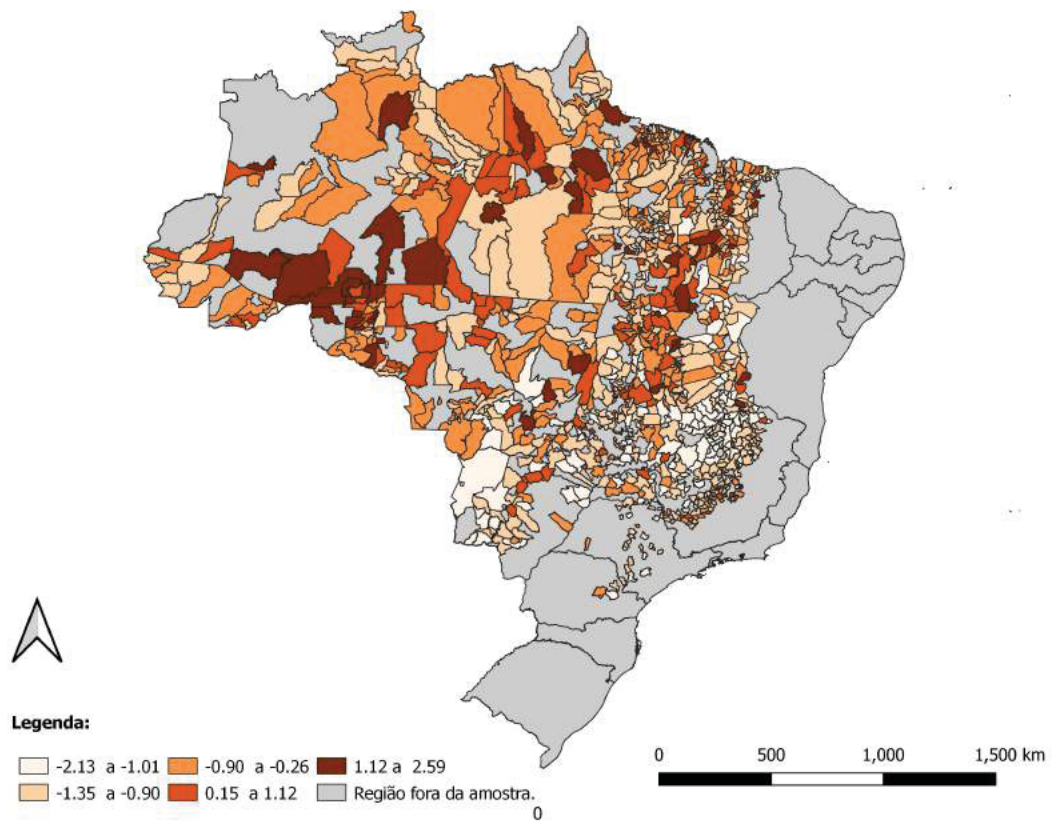


FIGURA 17 – Incremento de Desmatamento por município - 2017
Fonte: Elaboração própria com dados do Prodes.

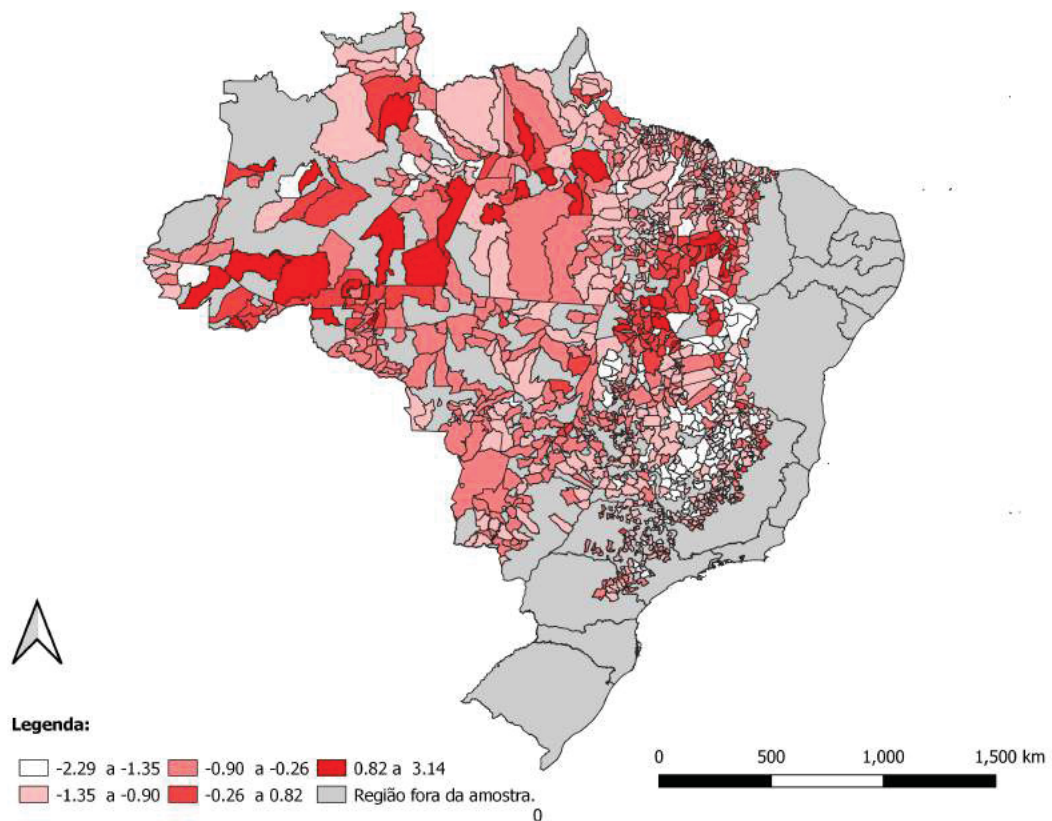


FIGURA 18 – Emissões de CO₂ por município - 2017
Fonte: Elaboração própria com dados do INPE.

4 RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta os resultados das funções de escores de propensão para as quatro formas de tratamento: expansão dos SAFs acima de 0 hectares e aumento porcentual dos SAFs superior ao primeiro, segundo e terceiro quartil de crescimento porcentual da amostra de emissões de CO₂. Neste capítulo, esses tratamentos alternativos são denominados como primeiro, segundo, terceiro e quarto tratamento.

No primeiro tratamento, as variáveis de recursos hídricos (RHID) e de propriedade da terra (PROP) exibem os coeficientes de 0,018 e -0,007, respectivamente. Os resultados desses condicionantes são opostos aos estudos de Pattanayak et al. (2003), Lasco, Delfino e Espaldon (2014) e Schembergue et al. (2017), dado que a literatura indica a disponibilidade baixa de recursos hídricos como estímulo à adoção de sistemas sustentáveis de produção, e aponta a propriedade da terra como fomento dos SAFs por reduzir os riscos dos investimentos de longo prazo. Além disso, esses resultados podem ser característicos da região por não apresentar déficits hídricos, como na região semi-árida brasileira.

A variável GEN (proporção de mulheres produtoras) apresenta o coeficiente de 0,023, indicando que maior proporção de mulheres produtoras aumenta a chance de expansão dos SAFs. Essa evidência é contrária aos estudos de Pattanayak et al. (2003) e Pompeu et al. (2012), em que os homens foram mais propensos na adoção de SAFs. Dessa maneira, esse resultado mostra que as mulheres, possivelmente, apresentam mais atitude pró-ambiental ou que elas possuem mais acesso à informação de novas técnicas produtivas.

O baixo potencial agrícola do solo também aumenta a chance de expansão dos SAFs, dado que o seu coeficiente estimado é de 0,417. Esse resultado está de acordo com os trabalhos de Pattanayak et al. (2003), Lasco, Delfino e Espaldon (2014) e Schembergue et al. (2017), portanto, ele pode estar associado à expansão dos SAFs para recuperar solos degradados e, conseqüentemente, recuperar a produtividade agrícola.

As variáveis climáticas, PREC e TEMP, apresentam coeficientes estatisticamente significantes nos valores de -0,851 e -1,951, enquanto TEMP² exibe o coeficiente de 0,042. Esses resultados são semelhantes aos obtidos no trabalho de Schembergue et al. (2017) e, também, indicam que processos de adaptação às mudanças climáticas foram importantes no crescimento dos SAFs de 2006 a 2017. Isto porque os resultados mostraram que condições climáticas estáveis reduzem a chance de expansão dos SAFs, ao passo que temperaturas médias extremamente elevadas ou baixas aumentam

TABELA 3 – Resultados das funções *logit* para o *propensity score*

| | <i>Variável Dependente (Binária): Expansão dos SAFs</i> | | | |
|-------------------|---|----------------------|----------------------|---------------------|
| | 1° T | 2° T | 3° T | 4° T |
| RHID | 0.018*** (0.005) | 0.015*** (0.005) | 0.016*** (0.006) | 0.012 (0.008) |
| EDUC | −0.009 (0.007) | −0.005 (0.007) | −0.012 (0.008) | 0.011 (0.011) |
| ORIET | −0.003 (0.005) | −0.005 (0.005) | 0.002 (0.006) | −0.002 (0.007) |
| ASSOC | 0.001 (0.004) | 0.003 (0.004) | 0.00001 (0.005) | 0.013** (0.006) |
| FINANC | −0.001 (0.011) | −0.003 (0.011) | −0.011 (0.012) | −0.008 (0.016) |
| GEN | 0.023** (0.010) | 0.020* (0.011) | 0.022* (0.012) | 0.022 (0.015) |
| PROP | −0.007* (0.004) | 0.001 (0.004) | 0.005 (0.005) | 0.019*** (0.007) |
| POT.BAIXO | 0.417** (0.168) | 0.320* (0.175) | 0.124 (0.193) | 0.337 (0.266) |
| PREC | −0.851*** (0.329) | −0.888*** (0.323) | −1.055*** (0.339) | −0.964** (0.423) |
| TEMP | −1.951*** (0.736) | −1.259* (0.728) | −0.854 (0.809) | −1.477 (1.028) |
| PREC ² | 0.052 (0.033) | 0.062* (0.033) | 0.087** (0.035) | 0.088** (0.044) |
| TEMP ² | 0.042*** (0.016) | 0.027* (0.015) | 0.019 (0.017) | 0.032 (0.022) |
| Constant | 24.029*** (8.733) | 14.781* (8.636) | 9.252 (9.616) | 13.612 (12.174) |
| Obs | 1,196 | 1,196 | 1,196 | 1,196 |
| Log Likelihood | −792.207 | −768.102 | −659.472 | −441.660 |
| Akaike Inf. Crit. | 1,610.414 | 1,562.204 | 1,344.943 | 909.319 |

^a Nota: valor-P ≤ 0 '***' 0.001 '***' 0.1 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

^b Nota: funções estimadas com a amostra de emissões de CO₂.

^c 1° T : crescimento acima de 0 hectares.

^d 2° T: crescimento porcentual acima do 1º quartil.

^e 3° T: crescimento porcentual acima do 2º quartil.

^f 4° T: crescimento porcentual acima do 3º quartil.

Fonte: elaboração própria.

a chance de crescimento da área agroflorestal.

No segundo tratamento, as variáveis RHID, GEN, POT.BAIXO, PREC, TEMP, PREC² e TEMP² apresentam os coeficientes de 0,015, 0,020, 0,320, -0,888, -1,259, 0,062 e 0,027, respectivamente. Já no terceiro tratamentos, somente as variáveis RHID, GEN, PREC e PREC² exibem resultados estatisticamente significantes, em que os coeficientes são, nessa ordem, 0,016, 0,022, -1,055 e 0,087. Destaca-se que as justificativas para esses resultados são similares às que foram apontadas no primeiro tratamento.

No quarto tratamento, os resultados indicam que a associação de produtores e a propriedade da terra aumentam a chance de expansão dos SAFs, dado seus coeficientes de 0,013 e 0,019, respectivamente. Esses resultados estão de acordo com os trabalhos de Pattanayak et al. (2003) e Schembergue et al. (2017), indicando que fatores de proteção aos riscos de longo prazo, sejam eles institucionais ou mercadológicos, foram decisivos na expansão dos SAFs. Além disso, as variáveis PREC e PREC² também foram estatisticamente significantes com os valores de -0,964 e 0,088.

Após estimar os escores de propensão, a fim de mitigar o viés de seleção pelas características observáveis, este trabalho analisou a qualidade do pareamento para cada método e cada variável de interesse. Dessa maneira, os resultados apresentados, neste capítulo, correspondem aos métodos mais utilizados na literatura e que mais se adequaram às hipóteses de não-confundimento e de sobreposição, tais como o pareamento por Vizinho Mais Próximo - com reposição e *caliper* de 0,25 e 0,10 - e Kernel.

As Tabelas 4 e 5 apresentam os testes de chi-quadrado para os quatro tipos de tratamento analisados neste trabalho. Segundo Hansen e Bowers (2008), esses testes podem ser utilizados para verificar se há pelo menos uma covariável com diferença de média entre o grupo de controle e de tratamento, tanto antes como após pareamento. Assim, observa-se na Tabela 4, referente ao desmatamento, que a amostra sem pareamento apresenta diferença entre o grupo de tratamento e de controle em cada um dos tratamentos, ao passo que esses grupos não mostraram diferença estatística entre si em nenhum dos métodos com pareamento. Na Tabela 5, relacionada às emissões de CO₂, os balanceamentos das covariáveis, antes e depois dos pareamentos, exibem resultados semelhantes aos pareamentos realizados para a análise do desmatamento, destacando que os métodos Vizinho Mais Próximo 2:1 e Kernel resultaram em valores-P próximos de cem. Esses resultados indicam, portanto, que os pareamentos podem ter reduzido o viés de seleção pelo controle no vetor X e, conseqüentemente, atendido à hipótese de não-confundimento.

A qualidade de pareamento, para cada técnica e cada tipo de tratamento, foi analisada pelo suporte comum, pela razão de variâncias e pela diferença padronizada

TABELA 4 – Testes de chi-quadrado. Variável dependente: desmatamento

| Método | 1º Tratamento | 2º Tratamento | 3º Tratamento | 4º Tratamento |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Amostra não-pareada | 0,000*** | 0,000*** | 0,001** | 0,012* |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,25 | 0.894 | 0.739 | 0.960 | 0.706 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,10 | 0.894 | 0.739 | 0.960 | 0.706 |
| Vizinho Mais Próximo - 2:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,25 | 0.980 | 0.996 | 0.997 | 0.994 |
| Vizinho Mais Próximo - 2:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,10 | 0.980 | 0.996 | 0.997 | 0.994 |
| Kernel | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Nota: valor-P ≤ 0 **** 0.001 *** 0.1 ** 0.05 . 0.1 " 1.

Fonte: elaboração própria.

TABELA 5 – Testes de chi-quadrado. Variável dependente: emissões de CO₂

| Método | 1º Tratamento | 2º Tratamento | 3º Tratamento | 4º Tratamento |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Amostra não-pareada | 0,000*** | 0,000*** | 0,000*** | 0,002** |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,25 | 0.492 | 0.620 | 0.919 | 0.666 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,10 | 0.492 | 0.620 | 0.919 | 0.666 |
| Vizinho Mais Próximo - 2:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,25 | 0.797 | 0.978 | 0.997 | 0.875 |
| Vizinho Mais Próximo - 2:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,10 | 0.797 | 0.978 | 0.997 | 0.875 |
| Kernel | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Nota: valor-P ≤ 0 **** 0.001 *** 0.1 ** 0.05 . 0.1 " 1.

Fonte: elaboração própria.

das médias dos grupos de tratamento e de controle, a qual, segundo Imbens e Wooldridge (2009), é preferível ao teste-t por não ser sensível ao tamanho da amostra. Sendo assim, destaca-se que todas as técnicas deste trabalho apresentaram suporte comum, razão de variância próxima de um e, na maioria dos casos, diferença das médias menor que 10% entre os grupos de tratamento e de controle. Essas medidas de ajustamento podem ser visualizadas no Apêndice 1.

A Tabela 6 apresenta os resultados do primeiro tratamento. Em relação à variável de desmatamento, nenhum resultado é estatisticamente significativo após o pareamento, seja pelo método do Vizinho Mais Próximo ou pelo método de Kernel. Desse modo, esse resultado não corrobora a hipótese de que as agroflorestas podem conter o avanço do desflorestamento por ganhos de produtividade ou por substituir práticas de agricultura extensiva. As emissões de CO₂ em 2019, de outro modo, foram menores nos municípios em que houve expansão dos SAFs. Seus coeficientes foram de -0,0795 e -0,0924 desvios-padrão, os quais podem representar tanto efeitos tardios da expansão dos SAFs como efeitos circunstanciais, dado que os resultados de desmatamento não foram significantes e as emissões de CO₂ são vinculadas às mudanças do uso da terra.

Na Tabela 7, os resultados do segundo tratamento não apontam efeitos da expansão dos SAFs no desmatamento e nas emissões de CO₂. Esses resultados podem indicar que a expansão dos SAFs não foi suficiente, em âmbito geral, para produzir

TABELA 6 – EMTT no desmatamento e nas emissões de CO₂. Tratamento: crescimento acima de 0 hectares

| Método | Desmatamento (YN) | | | Emissões de CO ₂ (ZN) | | |
|--|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------|
| | 2017 | 2018 | 2019 | 2017 | 2018 | 2019 |
| MQO sem variáveis de controle | -0.0886 . (0.0455) | -0.0179 (0.0421) | -0.1281 * (0.0532) | 0.0008 (0.0309) | -0.0248 (0.0333) | -0.0851 * (0.0418) |
| MQO com variáveis de controle | -0.0399 (0.0445) | 0.0048 (0.0412) | -0.0442 (0.0484) | 0.0041 (0.0305) | -0.0001 (0.0326) | -0.0471 (0.0405) |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,25 | -0.0495 (0.0525) | 0.0062 (0.0475) | -0.0427 (0.0539) | -0.0261 (0.0370) | -0.0528 (0.0388) | -0.0924 . (0.0472) |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,10 | -0.0512 (0.0526) | 0.0061 (0.0476) | -0.0428 (0.0540) | -0.0261 (0.0370) | -0.0528 (0.0388) | -0.0924 . (0.0472) |
| Vizinho Mais Próximo- 2:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,25 | -0.0456 (0.0472) | 0.0109 (0.0422) | -0.0195 (0.0482) | -0.0087 (0.0333) | -0.0212 (0.0348) | -0.0795 . (0.0425) |
| Vizinho Mais Próximo - 2:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,10 | -0.0501 (0.0473) | 0.0105 (0.0423) | -0.0198 (0.048) | -0.0087 (0.0334) | -0.0212 (0.0348) | -0.0795 . (0.0425) |
| Kernel | -0.0483 (0.0480) | 0.0016 (0.0443) | -0.0574 (0.0566) | 0.0126 (0.0326) | 0.0075 (0.0354) | -0.0567 (0.0447) |

Nota: valor-P ≤ 0 **** 0.001 *** 0.1 ** 0.05 ' ' 0.1 " 1.

Fonte: elaboração própria.

resultados positivos ou negativos nos incrementos de desmatamento e emissões de CO₂.

TABELA 7 – EMTT no desmatamento e nas emissões de CO₂. Tratamento: crescimento (%) > 1º quartil

| Método | Desmatamento (YN) | | | Emissões de CO ₂ (ZN) | | |
|--|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------|
| | 2017 | 2018 | 2019 | 2017 | 2018 | 2019 |
| MQO sem variáveis de controle | -0.0820 . (0.0462) | -0.0358 (0.0428) | -0.1012 . (0.0541) | 0.0252 (0.0317) | -0.0114 (0.0342) | -0.0563 (0.0429) |
| MQO com variáveis de controle | -0.0424 (0.0450) | -0.0138 (0.0417) | -0.0465 (0.0489) | 0.0245 (0.0312) | 0.0148 (0.0333) | -0.0210 (0.0413) |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,25 | -0.0836 (0.0561) | -0.0316 (0.0521) | -0.0694 (0.059) | -0.0068 (0.0406) | -0.0139 (0.0407) | -0.0372 (0.0503) |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,10 | -0.0801 (0.0561) | -0.0240 (0.0523) | -0.0698 (0.0595) | -0.0103 (0.0406) | -0.0171 (0.0408) | -0.0422 (0.0504) |
| Vizinho Mais Próximo- 2:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,25 | -0.0738 (0.0495) | -0.0130 (0.0447) | -0.0379 (0.0506) | -0.0369 (0.0364) | -0.0405 (0.0362) | -0.0694 (0.0448) |
| Vizinho Mais Próximo - 2:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,10 | -0.0661 (0.0493) | -0.0110 (0.0448) | -0.0332 (0.0507) | -0.0346 (0.0366) | -0.0364 (0.0363) | -0.0673 (0.0448) |
| Kernel | -0.0555 (0.0478) | -0.0103 (0.0445) | -0.0620 (0.0557) | 0.0233 (0.0335) | 0.0118 (0.0356) | -0.0305 (0.0440) |

Nota: valor-P ≤ 0 **** 0.001 *** 0.1 ** 0.05 ' ' 0.1 " 1.

Fonte: elaboração própria.

Os resultados do terceiro tratamento são apresentados na Tabela 8. Por um lado, eles indicam que o desmatamento em 2019 foi inferior nos municípios tratados com valores de -0,1150 e -0,1333 desvios-padrão. Por outro lado, as emissões de CO₂ em 2017 foram superiores nesses municípios em que ocorreu a expansão dos SAFs.

Seus coeficientes 0,0845 e 0,0855 desvios-padrão podem ser reflexo do histórico de desmatamento e de emissões de CO₂ que impactam os valores mais recentes desta última variável.

TABELA 8 – EMTT no desmatamento e nas emissões de CO₂. Tratamento: crescimento (%) > 2° quartil

| Método | Desmatamento (YN) | | | Emissões de CO ₂ (ZN) | | |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|--------------------|---------------------|
| | 2017 | 2018 | 2019 | 2017 | 2018 | 2019 |
| MQO sem variáveis de controle | -0.0184 (0.0513) | -0.0245 (0.0474) | -0.0707 (0.0600) | 0.0562 (0.0353) | 0.0017 (0.0381) | -0.0529 (0.0478) |
| MQO com variáveis de controle | 0.0144 (0.0496) | -0.0072 (0.0460) | -0.0453 (0.0539) | 0.0489 (0.0346) | 0.0175 (0.0369) | -0.0310 (0.0458) |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,25 | -0.0901 (0.0682) | -0.0278 (0.0624) | -0.1333 (0.0743) | 0.0549 (0.0468) | 0.0630 (0.0447) | 0.0272 (0.0545) |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,10 | -0.0901 (0.0682) | -0.0278 (0.0624) | -0.1333 (0.0742) | 0.0575 (0.0470) | 0.0661 (0.0448) | 0.0298 (0.0547) |
| Vizinho Mais Próximo - 2:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,25 | -0.0489 (0.0587) | -0.0201 (0.0523) | -0.1150 (0.0624) | 0.0845 * (0.0405) | 0.0611 (0.0340) | 0.0088 (0.0497) |
| Vizinho Mais Próximo - 2:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,10 | -0.0489 (0.0587) | -0.0201 (0.0530) | -0.1150 (0.0624) | 0.0855 * (0.0407) | 0.0622 (0.0402) | 0.0087 (0.0450) |
| Kernel | 0.0017 (0.0528) | -0.0091 (0.0496) | -0.9300 (0.0610) | 0.0515 (0.0381) | 0.0139 (0.0384) | -0.0413 (0.0470) |

Nota: valor-P ≤ 0 '****' 0.001 '***' 0.1 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

Fonte: elaboração própria.

A Tabela 9 mostra os resultados do quarto tratamento. Como pode ser observado, os resultados apontam que o desmatamento em 2018 em foi superior nos municípios em que mais ocorreu a expansão dos SAFs. Seus coeficientes de 0,1450 e 0,2089 desvios-padrão apresentam evidências de que os SAFs podem ter estimulado a expansão da fronteira agrícola em terras nativas, portanto, não corroboram os estudos Lasco, Delfino e Espaldon (2014) e Meijer et al. (2015).

No tocante às emissões de CO₂, os resultados indicam que elas foram superiores em municípios tratados nos anos de 2017 e 2018, tanto pela técnica de Vizinho Mais Próximo como pelo método de Kernel. Em 2017, seus coeficientes são de 0,1099, 0,1127 e 0,1394 desvios-padrão. No ano de 2018, eles foram estimados em 0,1217, 0,1275 e 0,1296 desvios-padrão. Esses resultados são opostos à hipótese de que a expansão dos SAFs poderia mitigar o avanço da agricultura em florestas nativas e, conseqüentemente, reduzir o desmatamento e as emissões de CO₂. Além disso, podem indicar que os modelos agroflorestais que foram difundidos não seguem, necessariamente, princípios sustentáveis ou agroecológicos.

Após a estimação desses resultados, foram realizados os testes não-paramétricos de Wilcoxon para verificar a sensibilidade perante o viés, de variáveis omitidas, que não foi identificado pelos pareamentos. Dessa maneira, foi observado que os resultados, do terceiro e do quarto tratamento, são mais robustos por apresentarem valores gamas

TABELA 9 – EMTT no desmatamento e nas emissões de CO₂. Tratamento: crescimento (%) > 3º quartil

| Método | Desmatamento (YN) | | | Emissões de CO ₂ (ZN) | | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|
| | 2017 | 2018 | 2019 | 2017 | 2018 | 2019 |
| MQO sem variáveis de controle | -0.03917 (0.0666) | 0.0647 (0.0616) | -0.05223 (0.0781) | 0.1311 ** (0.0460) | 0.1012 * (0.0497) | 0.0256 (0.0625) |
| MQO com variáveis de controle | -0.0223 (0.0642) | 0.0945 (0.0595) | -0.0457 (0.0699) | 0.1264 ** (0.0448) | 0.1293 ** (0.0479) | 0.0567 (0.0595) |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,25 | -0.0207 (0.0814) | 0.2089 * (0.0844) | -0.0559 (0.0925) | 0.0806 (0.0667) | 0.0907 (0.0675) | -0.0087 (0.0818) |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,10 | -0.0207 (0.0814) | 0.2089 * (0.0844) | -0.0559 (0.0925) | 0.0826 (0.0669) | 0.0928 (0.0677) | -0.0109 (0.0820) |
| Vizinho Mais Próximo- 2:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,25 | -0.0435 (0.0716) | 0.1450 . (0.0750) | -0.0361 (0.0827) | 0.1099 . (0.0561) | 0.1217 * (0.0565) | 0.0288 (0.0744) |
| Vizinho Mais Próximo - 2:1 - Com reposição - <i>caliper</i> : 0,10 | -0.0435 (0.0716) | 0.1450 . (0.0750) | -0.0361 (0.0827) | 0.1127 * (0.0564) | 0.1275 * (0.0567) | 0.0283 (0.0747) |
| Kernel | -0.0240 (0.0630) | 0.0808 (0.0705) | -0.0399 (0.0786) | 0.1394 ** (0.0529) | 0.1296 * (0.0529) | 0.0511 (0.0613) |

Nota: valor-P ≤ 0 '****' 0.001 '***' 0.1 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

Fonte: elaboração própria.

mais elevados na alteração de significância estatística dos seus coeficientes estimados (entre um e dois décimos a mais que os gamas calculados no primeiro e segundo tratamento). Além disso, os testes indicaram que os resultados nos anos de 2017 e 2018 foram mais robustos que os resultados de 2019, visto que os gamas estimados foram superiores entre um e dois décimos a mais. Esses testes de sensibilidade podem ser analisados no Apêndice 2.

Sendo assim, este trabalho fundamenta-se na premissa de que os SAFs podem diversificar a produção e aumentar a produtividade sem o avanço da área cultivável em florestas nativas. Nesse sentido, a hipótese é de que a expansão dos SAFs, entre 2006 e 2017, pode ter reduzido o desmatamento e as emissões de CO₂ nos anos pós-tratamento.

Os resultados, entretanto, não apresentam evidências de que a expansão dos SAFs reduziu o desmatamento de forma consistente. Isto porque eles apontam resultados opostos de desmatamento em 2018 e 2019, além de grande parte dos resultados não indicarem efeitos com significância estatística no período e nos tratamentos alternativos que foram analisados. Nesse sentido, os resultados poucos expressivos podem significar a baixa difusão dos SAFs, seja por falta de incentivos do mercado ou de incentivos institucionais.

A falta de incentivo institucional pode ser observado pelas variáveis de orientação técnica, de educação e de financiamento, na Tabela 3, não aumentarem as chances de um município ter expandido os SAFs entre 2006 e 2017. Isso porque, segundo Pattanayak et al. (2003), elas são importantes na aquisição de experiência,

de informação e, também, na prevenção de riscos associados ao curto e longo prazo. Além disso, as médias dessas variáveis, conforme podem ser vistas na Tabela 2, eram bem baixas em 2017, visto que apresentavam os valores de 19,57%, 26,63% e 8,92%, respectivamente (IBGE, 2017).

Os autores Porro e Miccolis (2011) também enfatizam a presença de barreiras estruturais na expansão de agroflorestas e de sistemas de produção adequados para agricultores familiares. Entre essas barreiras estruturais, Porro e Miccolis (2011) destacam as dificuldades logísticas, como as más condições das estradas e o longo distanciamento do mercado consumidor, a falta de acesso à extensão rural e a restrição em participar da cadeia de produção, principalmente pela dificuldade em cumprir as normas ambientais, em obter crédito e em comercializar os produtos.

A governança florestal pode ser outro entrave institucional na expansão dos SAFs e nos seus efeitos sobre o desflorestamento. Segundo Silva e Sambuichi (2016), apesar do Brasil possuir uma matriz florestal de potencial alto, pouco esforço foi realizado para integrar a produção e a conservação ambiental. Desse modo, alguns sistemas, como o plantio de florestas mistas e os agroflorestais, foram restritos em iniciativas pontuais e de pouco impacto em escala global (SILVA; SAMBUICHI, 2016).

O EMTT das emissões de CO₂ não apresentou significância estatística na maior parte dos anos pós-tratamento e dos tratamentos definidos por este trabalho. Todavia, no terceiro e no quarto tratamento, nos anos de 2017 e 2018, os resultados apontam que as emissões foram superiores nos municípios onde ocorreu a expansão dos SAFs.

No quarto tratamento, as unidades tratadas não se concentram em nenhuma região com histórico significativo de desmatamento, tal como o MATOPIBA e o arco do desmatamento, e também não apresentam valores médios das covariáveis que as distinguem dos municípios tratados das outras análises. Sendo assim, as justificativas do impacto negativo dos SAFs podem ser relacionadas aos tipos de empreendimentos que se expandiram e, também, à natureza dos dados de emissões que foram utilizados neste estudo.

A primeira justificativa refere-se aos tipos de SAFs que se expandiram de 2006 a 2017. Nesse sentido, Ollinaho e Kröger (2021) conceituam a transição agroflorestal em "boa", "mal" e "feia". A transição "boa" consiste na implementação de agroflorestas que privilegiam espécies nativas e que a produção siga princípios agroecológicos, impulsionando a biodiversidade e simulando o ecossistema natural. A "mal" transição refere-se à expansão de agroflorestas comerciais ou indústria agroflorestal, que tipicamente utiliza espécies exóticas, tal como o eucalipto no Cerrado, e que focam na extração de madeira quando utilizam o sistema de rotação. A transição "feia" seria referente à substituição de florestas primárias por sistemas de plantações comerciais,

estimulando o desmatamento e a degradação florestal. Dessa maneira, considerando que 7,77% da área agroflorestal na Amazônia e 8,59% da área no Cerrado estão em propriedades com mais de 500 hectares (2,5% considerando todo o território nacional), uma hipótese é que a expansão ocorreu, primordialmente, pela agrofloresta comercial ou indústria agroflorestal, de modo que a produção não siga princípios agroecológicos para mitigar as emissões de CO₂ de forma mais efetiva. Ainda, considerando que o Plano ABC fomentou os sistemas Integração-Lavoura-Pecuária (iLFP) e eles não são distinguidos no Censo Agropecuário, seus ganhos de produtividade podem ter estimulado uma expansão no modelo "comercial" em detrimento do modelo de produção sustentável.

Outra possibilidade é que, algumas vezes, os SAFs podem não apresentar os resultados esperados na conservação ambiental. Pokorny et al. (2021) analisaram a concessão de terras do governo peruano a pequenos agricultores em áreas de fronteira agrícola, os quais podem renovar a posse por quarenta anos desde que a produção seja sustentável, tal como a agrofloresta. Estudando 118 famílias, Pokorny et al. (2021) observaram que os SAFs tiveram pouca influência no desmatamento e na conservação dos recursos naturais.

Uma outra justificativa refere-se à utilização das emissões de CO₂ em 2ª ordem, pois seu modelo preditivo considera emissões por decomposição de biomassa e sua estimativa é influenciada pelas emissões dos anos anteriores. Ademais, como esses dados são estritamente ligados às mudanças do uso da terra, os resultados de emissões podem indicar que a expansão dos SAFs não foi acompanhada por menos desflorestamento em áreas nativas. Além disso, foram utilizadas as emissões brutas de CO₂ por indisponibilidade das emissões líquidas para o bioma do Cerrado, não captando, portanto, o sequestro de carbono que talvez seria potencializado pelo aumento dos SAFs.

Finalmente, devido à implementação dos SAFs ocorrer de forma gradual e seus benefícios de mitigação sucederem no médio ou longo prazo, pode ser que os efeitos da expansão agroflorestal sejam observados em anos posteriores ao de 2019.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os SAFs podem apresentar co-benefícios em termos de mitigação e adaptação das mudanças climáticas. Por um lado, podem formar estoques de carbono, recuperar solos degradados e propiciar microclimas mais resilientes a inundações e/ou secas cada vez mais frequentes. Por outro lado, podem gerar ganhos de produtividade e diversificação da produção, garantindo a renda e a subsistência de produtores rurais, principalmente os mais afetados pelas mudanças climáticas.

Dados os efeitos positivos que os SAFs podem ocasionar, algumas iniciativas foram realizadas para promovê-los, tanto de forma direta como de maneira indireta. Entre elas, o PPCDam e o PPCerrado incluíram, como uma de suas diretrizes, o fomento às agroflorestas para o desenvolvimento da produção sustentável. O Plano ABC estipulou, como uma de suas metas, a expansão de quatro milhões de hectares de iLPF e SAFs. O Pronaf Florestal foi criado para financiar, diretamente, a recuperação de áreas degradadas ou as novas produções por agrofloresta, enquanto alguns programas, como o PAA e o PNAE, estimularam, indiretamente, os SAFs pelo fortalecimento dos mercados locais e da agricultura familiar. Deste modo, seja por estímulos diretos ou indiretos, foi registrada a expansão dos SAFs, entre 2006 e 2017, em 5.547.135 hectares a nível nacional, e em 2.195.993 hectares nos municípios do Cerrado e da Amazônia (foco desta dissertação).

A partir desse contexto, este trabalho buscou responder qual o impacto dos SAFs no desflorestamento e nas emissões de CO₂. A expansão dos SAFs apresenta algum indício de que refreou o desmatamento, seja por ganhos de produtividade, pela fixação do agricultor na terra ou por uma melhor consciência ambiental dos produtores? Se houve uma redução no desmatamento, há possibilidade desse aumento agroflorestal haver mitigado as emissões de GEE?

Para tal, este trabalho utilizou o método PSM para comparar locais, em que houve expansão dos SAFs, com aqueles em que não existiu aumento da área agroflorestal. Também, para conferir mais robustez aos resultados, este estudo delimitou mais três tratamentos alternativos, nos quais os municípios tratados foram determinados da seguinte maneira: aumento percentual dos SAFs superior ao primeiro quartil de crescimento percentual da amostra, ao segundo quartil da amostra e ao terceiro quartil da amostra.

No primeiro tratamento, os resultados de desmatamento não revelaram significância estatística, enquanto as emissões de CO₂ em 2019 foram mais elevadas nos municípios tratados. No segundo tratamento, a expansão dos SAFs não produziu

efeito tanto nos valores de desmatamento como nos valores das emissões de CO₂. No terceiro tratamento, por sua vez, o desmatamento, em 2019, foi inferior e as emissões, em 2017, foi superior nos municípios tratados. No quarto tratamento, o desmatamento foi superior em 2018 e as emissões, em 2017 e 2018, foram superiores nos municípios tratados.

No que se refere ao resultado de desmatamento, a justificativa foi a de que existiram poucos incentivos institucional para que os SAFs gerassem efeitos na redução do desmatamento. Isso porque os indicadores de escolaridade, orientação técnica e financiamento apresentam valores bastante baixos e, conforme as funções *logit* na Tabela 3, não explicam a expansão agroflorestal de 2006 a 2017. Além disso, Porro e Miccolis (2011) e Silva e Sambuichi (2016) apontam barreiras estruturais (de logística, de crédito rural e de cadeia de produção) e impontualidade no fomento agroflorestal, de modo que seus efeitos agregados sejam limitados ao longo do tempo.

No tocante às emissões de CO₂, uma das justificativas é a de que expansão dos SAFs pode ter ocorrido, predominantemente, por meio de modelos comerciais que não seguem princípios agroecológicos e que, algumas vezes, podem até mesmo introduzir espécies exóticas ou causar desequilíbrios no ecossistema local.

Outra razão é a de que as emissões, em 2ª ordem, podem captar os efeitos do desmatamento e das emissões de CO₂ de anos passados, seja porque, anteriormente, predominavam produções não sustentáveis ou porque a produtividade pode ter estimulado a expansão da fronteira agrícola por meio dos SAFs. Ainda, destaca-se que esses resultados não consideram o sequestro de carbono e, portanto, o potencial de mitigação da expansão agroflorestal pode estar sub-representado neste trabalho.

Uma última justificativa refere-se à implementação dos SAFs ocorrer de forma gradual e seus benefícios de mitigação decorrerem no médio ou longo prazo, de modo que os efeitos da expansão dos SAFs sejam observados nos anos após 2019.

Finalmente, recomenda-se que outros trabalhos sejam realizados com todos os municípios brasileiros para que a relação de mitigação, entre agroflorestas e desmatamento, seja estabelecida com mais profundidade, principalmente porque esta expansão agroflorestal dos últimos anos pode apresentar benefícios de longo prazo que não foram capturados neste trabalho. Além disso, novos estudos podem ser elaborados a fim de entender a ligação entre expansão agroflorestal e adaptação das mudanças climáticas, principalmente em municípios da região semi-árida brasileira, onde essa atividade mais cresceu nos últimos anos.

REFERÊNCIAS

AMAZONAS. **Programa Bolsa Floresta : FAS Amazonas**. [S.l.: s.n.], 2020.

Disponível em:

<<https://fas-amazonas.org/componente/programa-bolsa-floresta>>. Acesso em: 19 de nov. 2020.

BRANCA, Giacomo et al. Capturing synergies between rural development and agricultural mitigation in Brazil. **Land use policy**, Elsevier, v. 30, n. 1, p. 507–518, 2013.

BRASIL. **Biomass**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em:

<<https://www.mma.gov.br/biomass.html>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

_____. **Emissões em dióxido de carbono equivalente por setor**. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em:

<<https://sirene.mctic.gov.br/portal/opencms/paineis/2018/08/24/Emissoes-em-dioxido-de-carbono-equivalente-por-setor.html>>. Acesso em: 20 de jul. 2020.

_____. **Plano ABC**. [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em:

<<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>>. Acesso em: 26 de ago. 2020.

_____. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) : fase 2016-2020**. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <https://combateadesmatamento.mma.gov.br/images/Doc_ComissaoExecutiva/Livro-PPCDam-e-PPCerrado_20JUN2018.pdf>.

Acesso em: 15 de ago. 2020.

_____. **Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatório de Referência—Emissões no Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas**. [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em:

<https://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2018/10/11/Estimativas_3ed.pdf>. Acesso em: 15 de ago. 2020.

CALIENDO, Marco; KOPEINIG, Sabine. Some practical guidance for the implementation of propensity score matching. **Journal of economic surveys**, Wiley Online Library, v. 22, n. 1, p. 31–72, 2008.

CARMO MARTINELLI, Gabrielli do et al. Decreasing uncertainties and reversing paradigms on the economic performance of agroforestry systems in Brazil. **Land use policy**, Elsevier, v. 80, p. 274–286, 2019.

FAO. **Agroforestry**. [S.l.: s.n.], 2015. Disponível em:

<<http://www.fao.org/forestry/agroforestry/80338/en/>>. Acesso em: 26 de ago. 2020.

HANSEN, Ben B; BOWERS, Jake. Covariate balance in simple, stratified and clustered comparative studies. **Statistical Science**, JSTOR, p. 219–236, 2008.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. [S.l.: s.n.], 2006. Disponível em:

<<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2006/segunda-apuracao>>. Acesso em: 15 de jan. 2020.

_____. **Censo Agropecuário 2017**. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em:

<<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>>. Acesso em: 15 de jan. 2020.

IMBENS, Guido W; WOOLDRIDGE, Jeffrey M. Recent developments in the econometrics of program evaluation. **Journal of economic literature**, v. 47, n. 1, p. 5–86, 2009.

INPE. **TerraBrasilis**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/cerrado/increments>>. Acesso em: 26 de ago. 2020.

IPCC. **Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**[Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)] [S.l.]: IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp, 2014.

LASCO, Rodel D; DELFINO, Rafaela Jane P; ESPALDON, Marya Laya O. Agroforestry systems: helping smallholders adapt to climate risks while mitigating climate change. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, Wiley Online Library, v. 5, n. 6, p. 825–833, 2014.

LASCO, Rodel D; EVANGELISTA, Remedios S; PULHIN, Florencia B. Potential of community-based forest management to mitigate climate change in the Philippines. **Small-Scale Forestry**, Springer, v. 9, n. 4, p. 429–443, 2010.

MEIJER, Seline S et al. The role of knowledge, attitudes and perceptions in the uptake of agricultural and agroforestry innovations among smallholder farmers in sub-Saharan Africa. **International Journal of Agricultural Sustainability**, Taylor & Francis, v. 13, n. 1, p. 40–54, 2015.

MICCOLIS, Andrew et al. **Restauração ecológica com Sistemas Agroflorestais**. [S.l.: s.n.], 2016. P. 266. ISBN 9788563288189.

MOTTA, Ronaldo Seroa da. A política nacional sobre mudança do clima: aspectos regulatórios e de governança. **MUDANÇA DO CLIMA NO BRASIL**, p. 31, 2011.

OLLINAHO, Ossi I; KRÖGER, Markus. Agroforestry transitions: The good, the bad and the ugly. **Journal of Rural Studies**, Elsevier, v. 82, p. 210–221, 2021.

OLMOS, Antonio; GOVINDASAMY, Priyalatha. Propensity scores: a practical introduction using R. **Journal of MultiDisciplinary Evaluation**, v. 11, n. 25, p. 68–88, 2015.

PATTANAYAK, Subhrendu K et al. Taking stock of agroforestry adoption studies. **Agroforestry systems**, Springer, v. 57, n. 3, p. 173–186, 2003.

POKORNY, Benno et al. The potential of agroforestry concessions to stabilize Amazonian forest frontiers: a case study on the economic and environmental robustness of informally settled small-scale cocoa farmers in Peru. **Land Use Policy**, Elsevier, v. 102, p. 105242, 2021.

POMPEU, Gisele do Socorro Santos et al. Adoption of agroforestry systems by smallholders in Brazilian Amazon. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 15, n. 1, 2012.

PORRO, Roberto; MICCOLIS, Andrew. Políticas públicas para o desenvolvimento agroflorestal no Brasil. **Belém: World Agroforestry Centre**, 2011.

RADA, Nicholas; HELFAND, Steven; MAGALHÃES, Marcelo. Agricultural productivity growth in Brazil: Large and small farms excel. **Food Policy**, Elsevier, v. 84, p. 176–185, 2019.

REID, Walter V. Biodiversity hotspots. **Trends in Ecology & Evolution**, Elsevier, v. 13, n. 7, p. 275–280, 1998.

ROSENBAUM, Paul R; RUBIN, Donald B. The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. **Biometrika**, Oxford University Press, v. 70, n. 1, p. 41–55, 1983.

SCHEMBERGUE, Altamir et al. Sistemas agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, SciELO Brasil, v. 55, n. 1, p. 9–30, 2017.

SILVA, Ana Paula Moreira da; SAMBUICHI, Regina Helena Rosa. Estrutura institucional brasileira para a governança dos recursos florestais. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2016.

SPARKS, Adam. **nasapower: NASA-POWER Data from R**. [S.l.], 2019. R package version 1.1.3. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=nasapower>.

VILLA, Pedro Manuel et al. Policy forum: Shifting cultivation and agroforestry in the Amazon: Premises for REDD+. **Forest Policy and Economics**, Elsevier, v. 118, p. 102217, 2020.

APÊNDICE 1 - O SUPORTE COMUM E O BALANCEAMENTO DAS COVARIÁVEIS

Nas Figuras 19, 35 e 21, referentes ao desmatamento do primeiro tratamento, observa-se que todos os métodos de pareamento atenderam o suporte comum e todas covariáveis tornaram-se balanceados com a diferença de médias abaixo de 10%. Destaca-se que a precipitação (PREC) ficou com a razão de variância próxima de um no pareamento por Vizinho Mais Próximo 2:1 e *caliper* de 0,25, enquanto a covariável de financiamento obteve a razão de variância próxima de um por Vizinho Mais Próximo 2:1 e *caliper* de 0,10.

Nas Figuras 20, 36 e 22, referentes às emissões de CO₂ do primeiro, verifica-se também que todos os pareamentos incorreram no suporte comum e, com exceção da covariável de propriedade, todas apresentaram diferença de médias abaixo de 10%. A covariável de temperatura (TEMP) teve uma leve piora nas diferenças de médias após os pareamentos, porém em nenhum deles a diferença ficou acima de 10% e, em todos eles, a razão de variância obteve melhora e ficou próxima de um.

No tocante ao desmatamento pelo segundo tratamento, as Figuras 23, 37, 25 mostram que todas as técnicas de pareamento apresentaram suporte comum e obtiveram razões de variâncias próximas de 1. As covariáveis de temperatura (TEMP), orientação técnica (ORIET) e recursos hídricos (RHID) exibiram desbalanceamento após o pareamento por Vizinho Mais Próximo - 1:1 e *caliper* de 0,25 e 0,10. As demais covariáveis ficaram balanceadas com diferença de médias abaixo de 10%.

No que se refere às emissões de CO₂ no segundo tratamento, as Figuras 24, 38, 26 revelam o suporte comum em todos os pareamentos e, também, as razões de variâncias próximas de 1. Somente o financiamento (FINANC) ficou desbalanceado no Vizinho Mais Próximo 1:1 com *calipers* de 0,25 e 0,10. As demais covariáveis exibiram diferenças de médias abaixo de 10%.

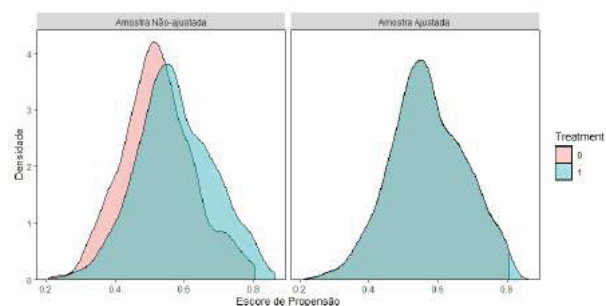
Quanto ao desmatamento no terceiro tratamento, as Figuras 27, 39, 29 apontam o suporte comum em todos os métodos e as razões de variâncias em torno de 1. A orientação técnica (ORIET) foi a única variável, com diferença padronizada de médias superior a 10%, no Vizinho Mais Próximo - 1:1 com *caliper* de 0,25 e 0,10. As covariáveis restantes, de outra maneira, ficaram balanceadas em todas as técnicas de pareamento.

Em relação às emissões de CO₂ no terceiro tratamento, as Figuras 28, 40, 30 sustentam que todos os métodos apresentaram suporte comum e razões de variâncias próximas de 1. Além disso, todas as covariáveis ficaram balanceadas com diferença de médias abaixo de 10%.

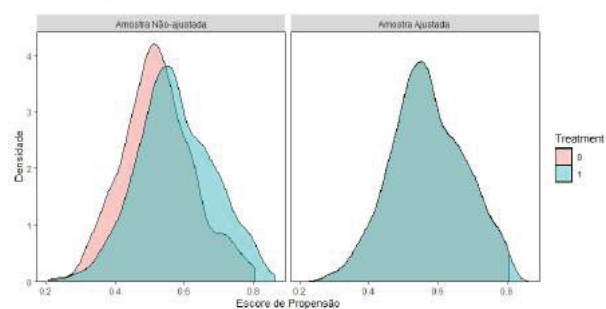
Sobre o desmatamento no quarto tratamento, as Figuras 31, 41, 33 evidenciam o suporte comum e as razões de variâncias próximas de 1 em todos os métodos. Quanto ao balanceamento, a covariável de precipitação ficou desbalanceada após o método do Vizinho Mais Próximo - 1:1 e *caliper* de 0,25. Além disso, a precipitação e a orientação técnica se tornaram desbalanceadas após o pareamento com Vizinho Mais Próximo - 2:1 e *caliper* de 0,25 e 0,10. As demais covariáveis ficaram balanceadas com diferença de médias abaixo de 10%.

As Figuras 32, 42, 34, referentes às emissões de CO₂ no quarto tratamento, indicam o suporte comum e as razões de variâncias próximas de 1 em todos os métodos. Ademais, a covariável de temperatura (TEMP) foi a única desbalanceada depois do pareamento com Vizinho Mais Próximo - 1:1 e *caliper* de 0,25 e 0,10. As outras covariáveis não apresentaram diferenças de médias superiores a 10%.

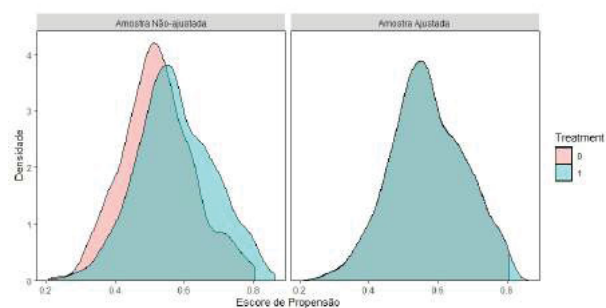
FIGURA 19 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 1º Tratamento



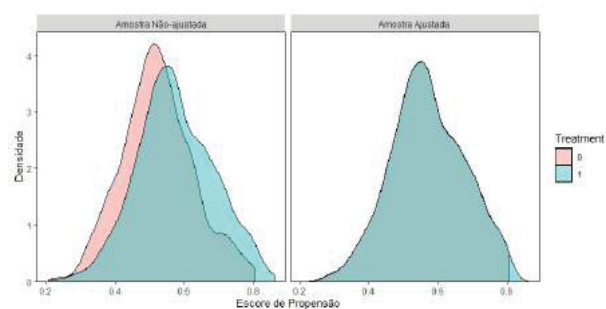
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

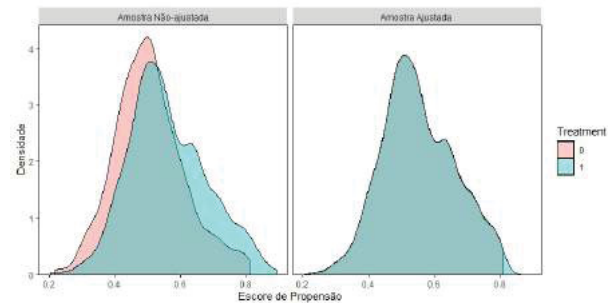


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25

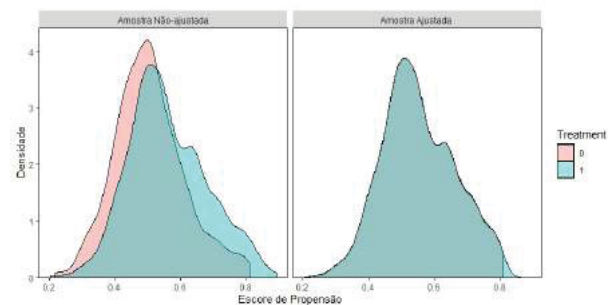


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

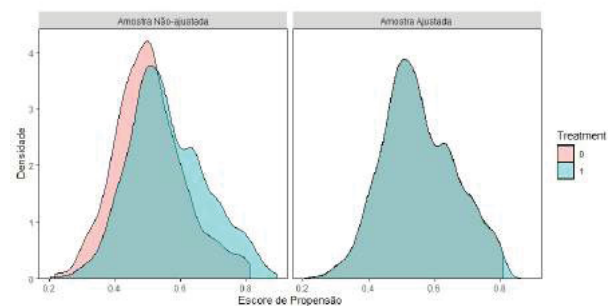
FIGURA 20 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO₂. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 1º Tratamento



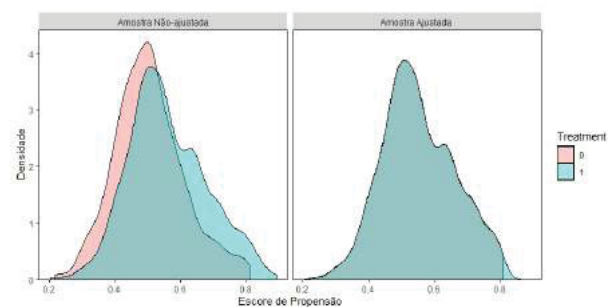
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

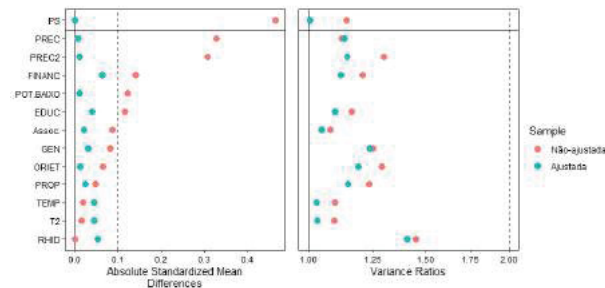


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25

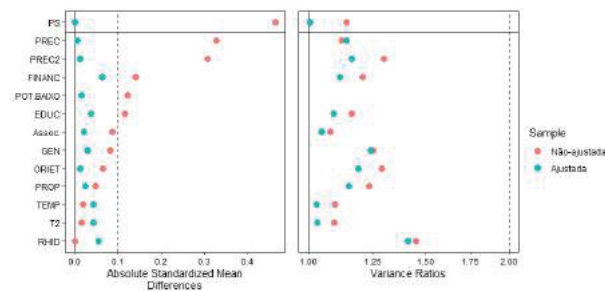


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

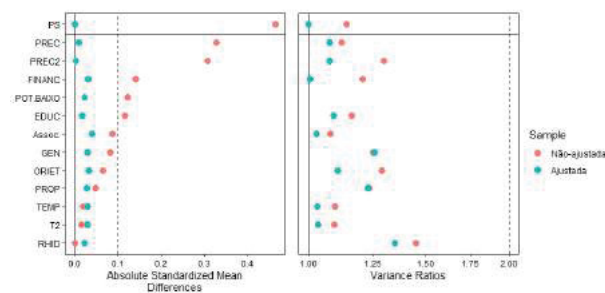
FIGURA 21 – Balanceamento. Variável dependente: desmatamento. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 1º Tratamento



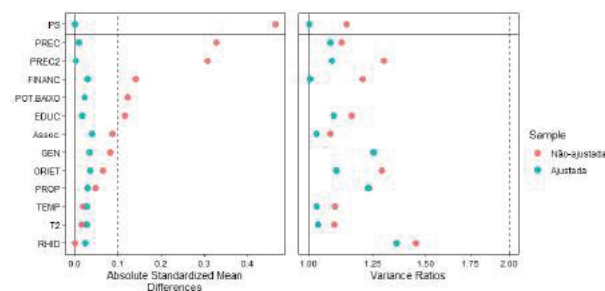
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

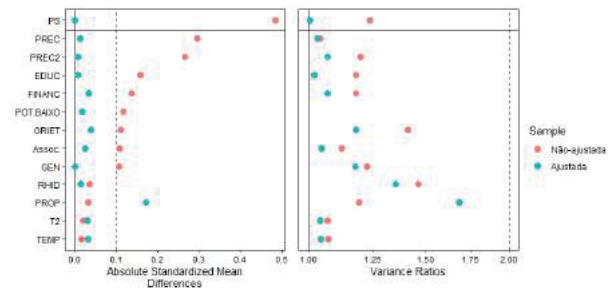


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25

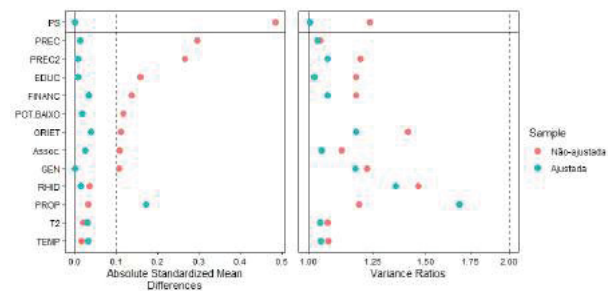


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

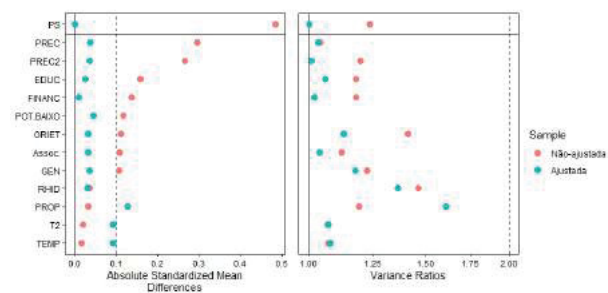
FIGURA 22 – Balanceamento. Variável dependente: emissões de CO₂. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 1º Tratamento



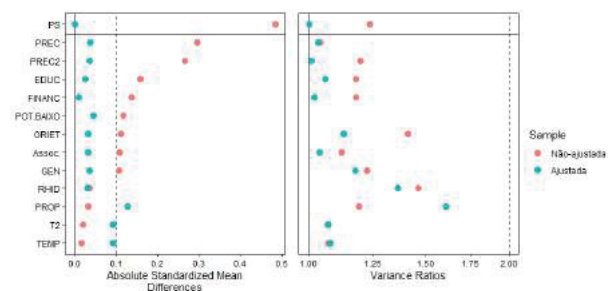
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

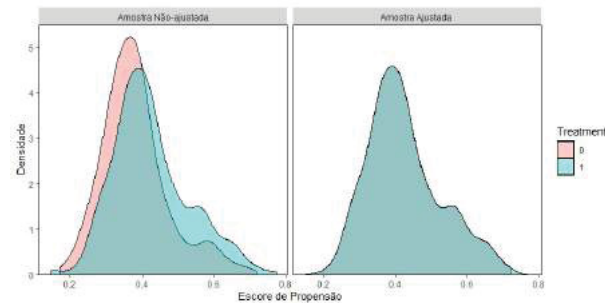


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25

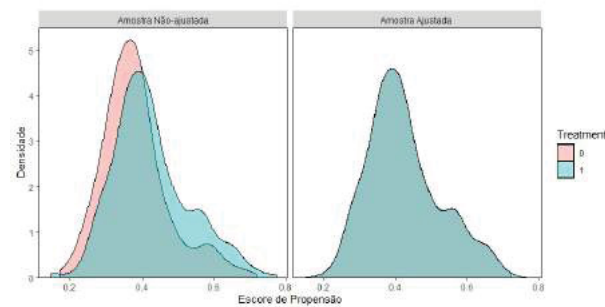


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

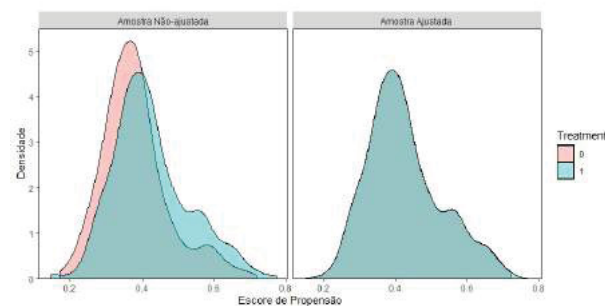
FIGURA 23 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 2º Tratamento



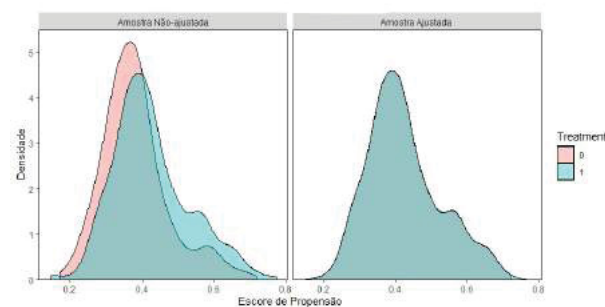
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

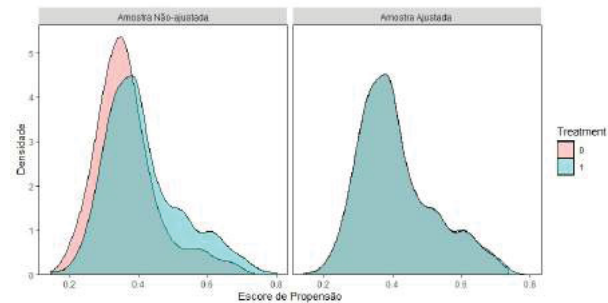


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25

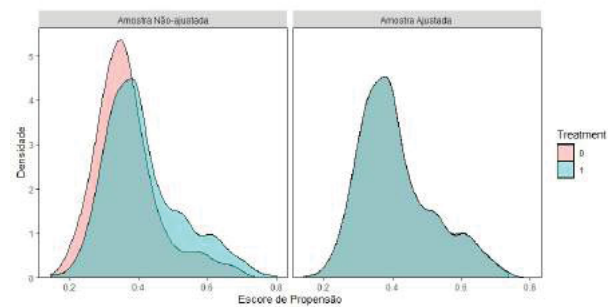


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

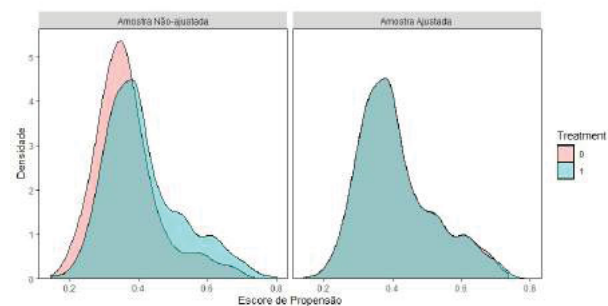
FIGURA 24 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO₂. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 2º Tratamento



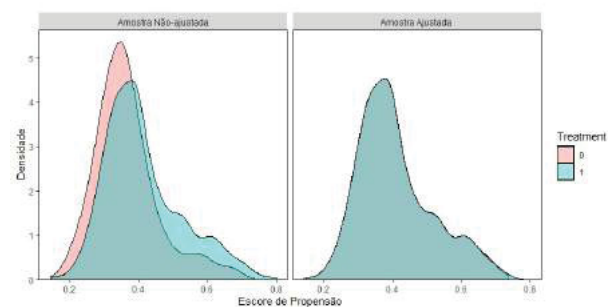
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

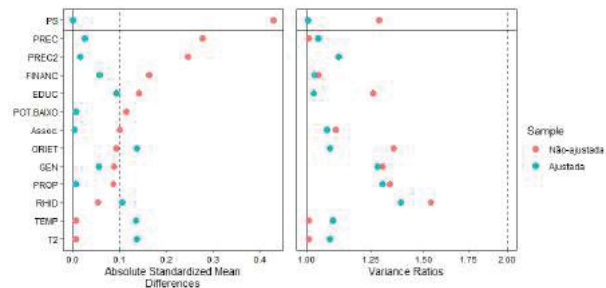


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25

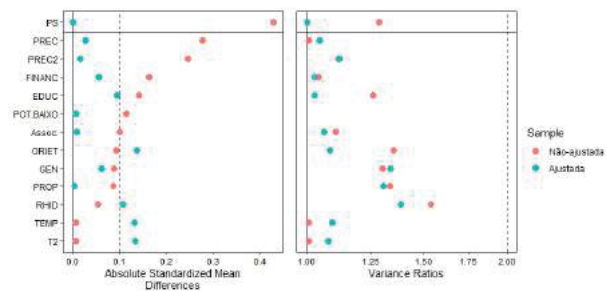


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

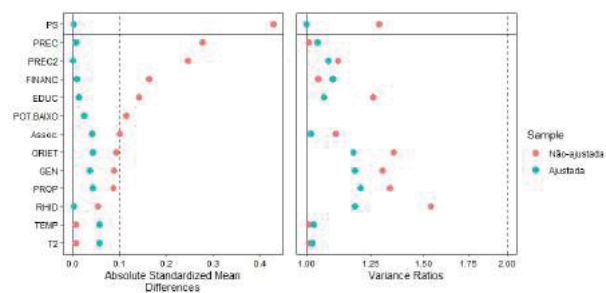
FIGURA 25 – Balanceamento. Variável dependente: desmatamento. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 2º Tratamento



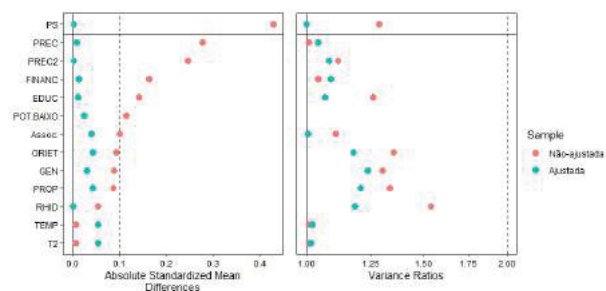
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

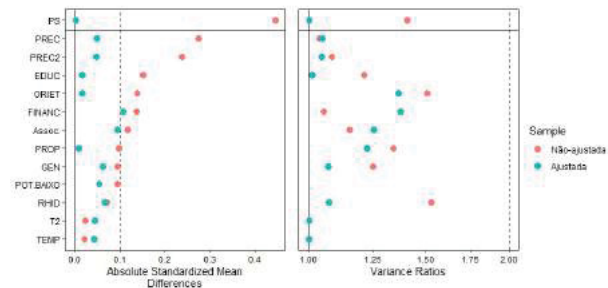


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25

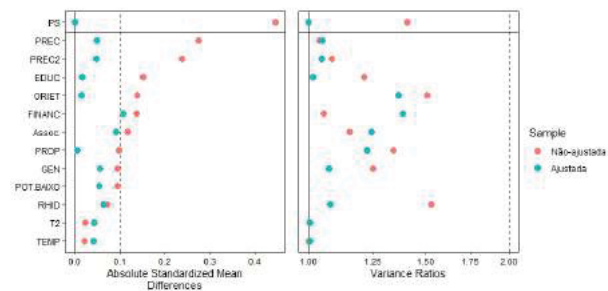


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

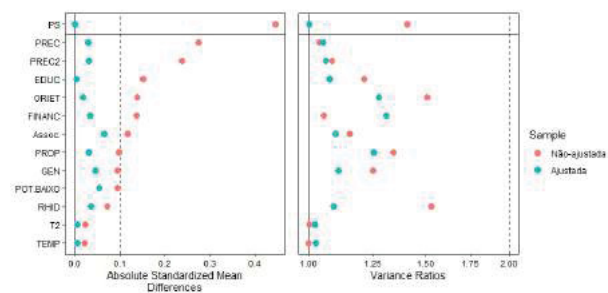
FIGURA 26 – Balanceamento. Variável dependente: emissões de CO₂. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 2º Tratamento



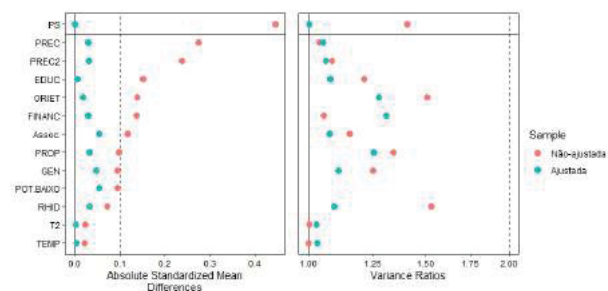
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

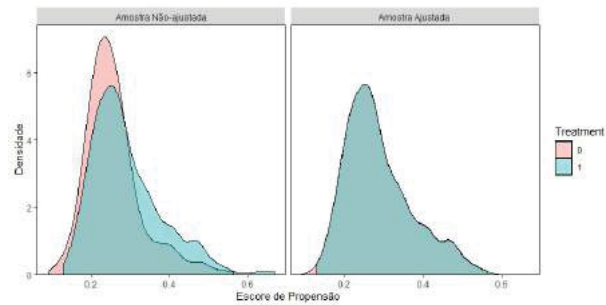


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25

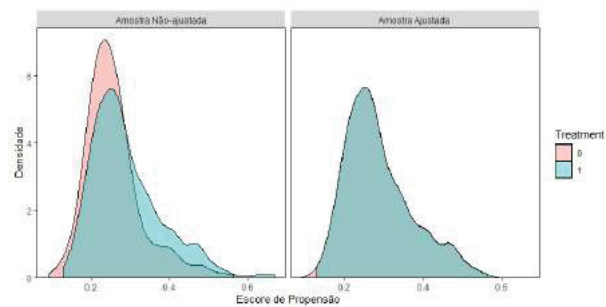


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

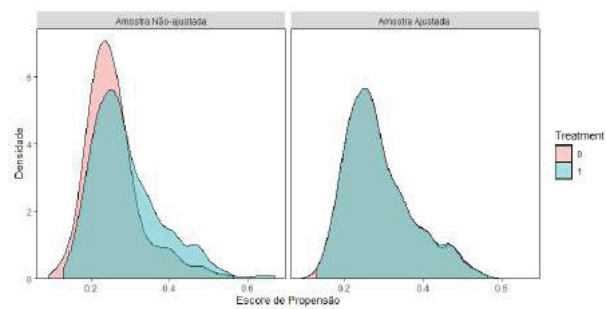
FIGURA 27 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 3º Tratamento



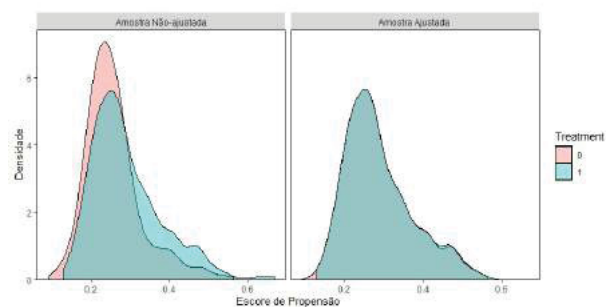
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

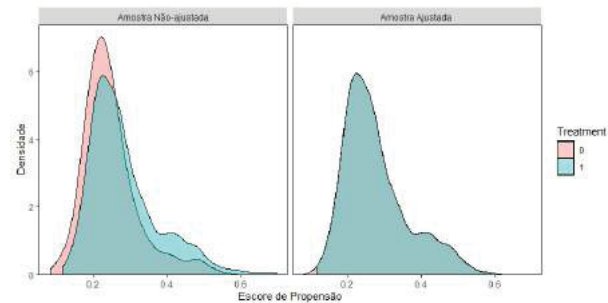


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25

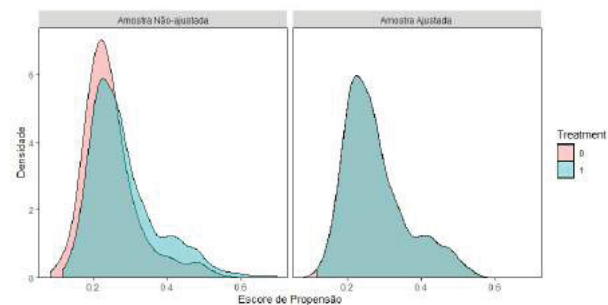


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

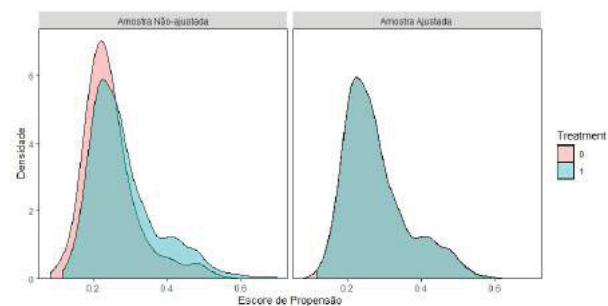
FIGURA 28 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO₂. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 3º Tratamento



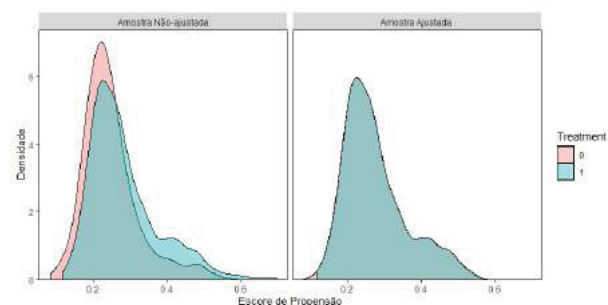
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

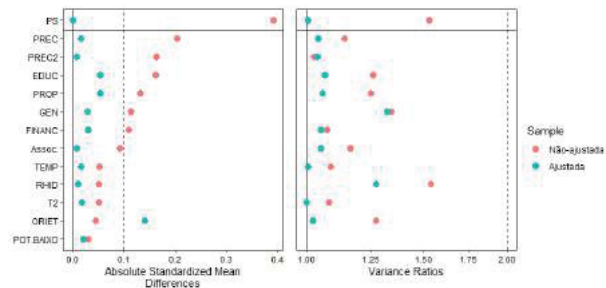


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25

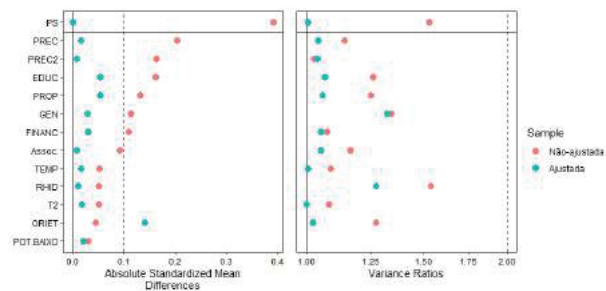


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

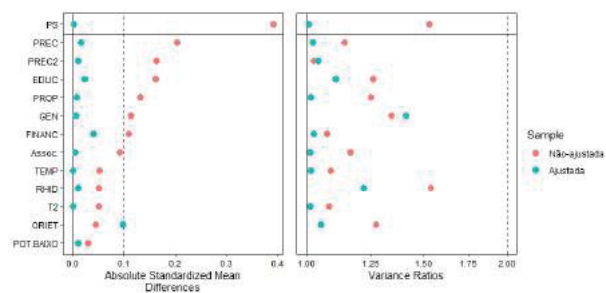
FIGURA 29 – Balanceamento. Variável dependente: desmatamento. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 3º Tratamento



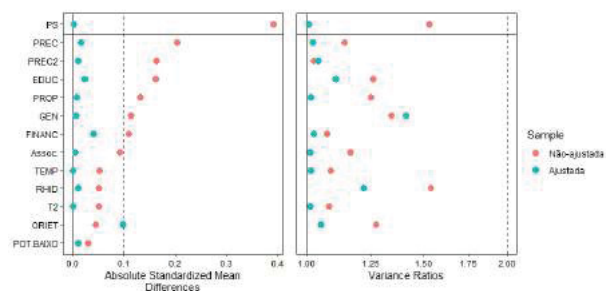
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

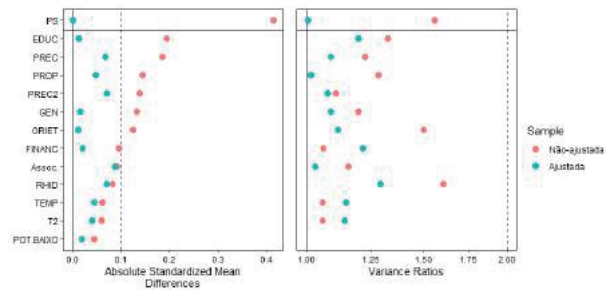


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25

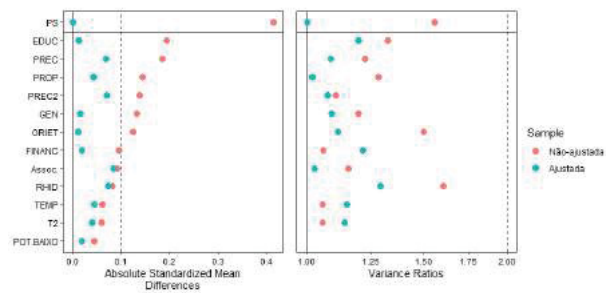


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

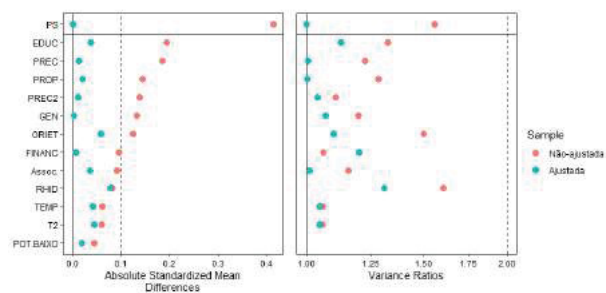
FIGURA 30 – Balanceamento. Variável dependente: emissões de CO₂. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 3º Tratamento



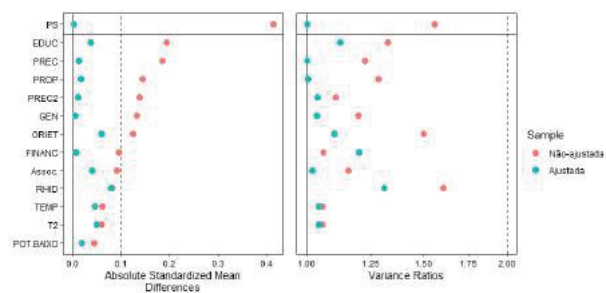
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

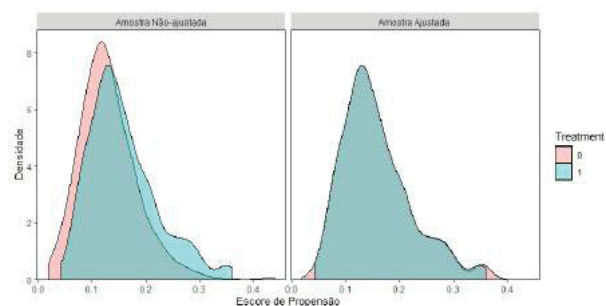


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25

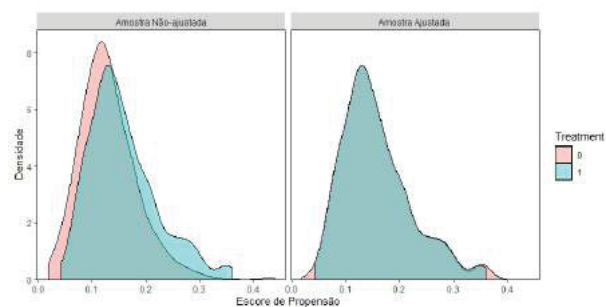


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

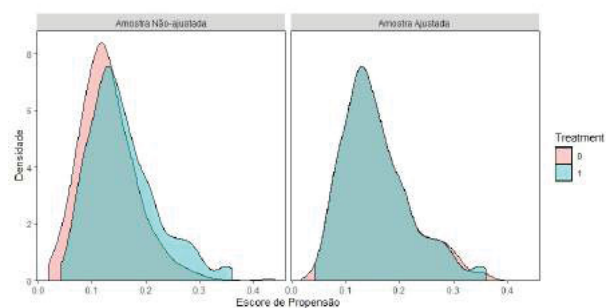
FIGURA 31 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 4º Tratamento



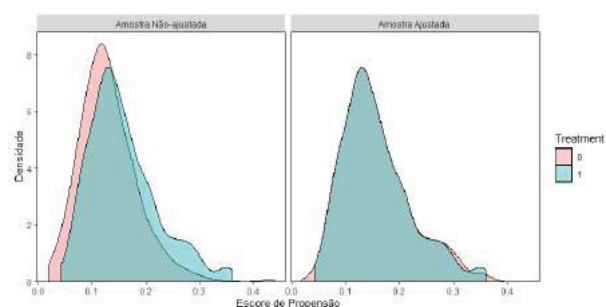
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

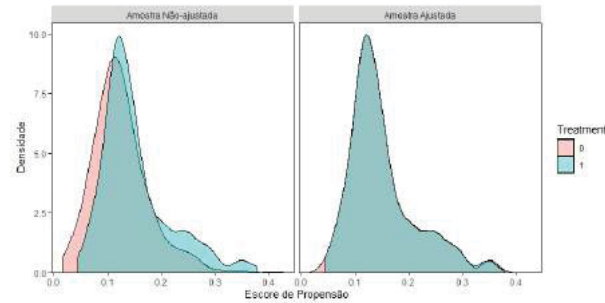


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25

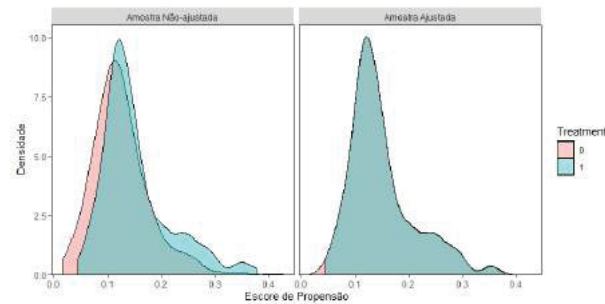


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

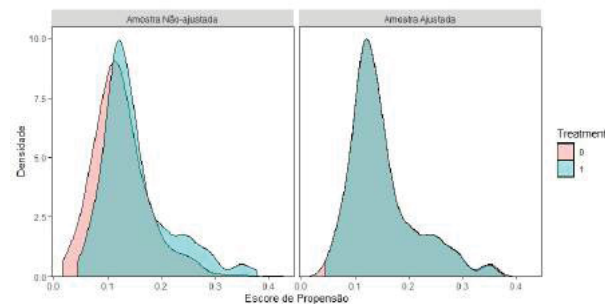
FIGURA 32 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO₂. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 4º Tratamento



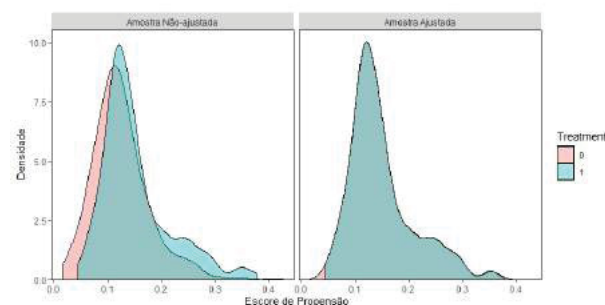
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Caliper: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Caliper: 0,10

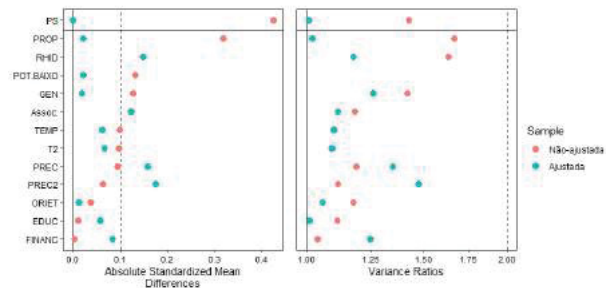


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - Caliper: 0,25

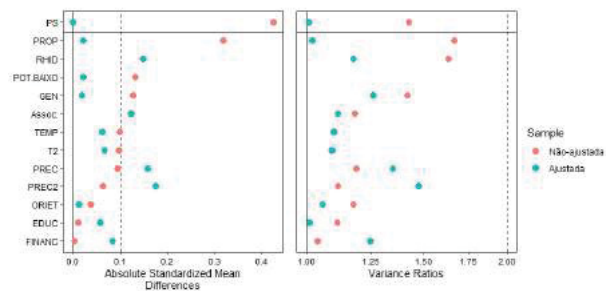


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - Caliper: 0,10

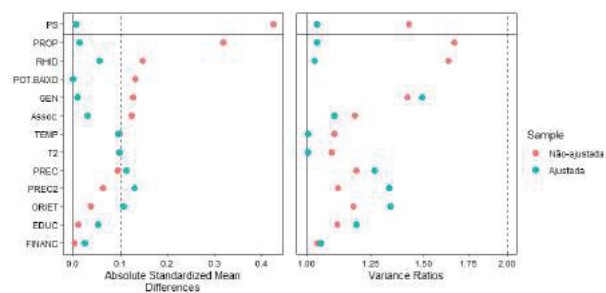
FIGURA 33 – Balanceamento. Variável dependente: desmatamento. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 4º Tratamento



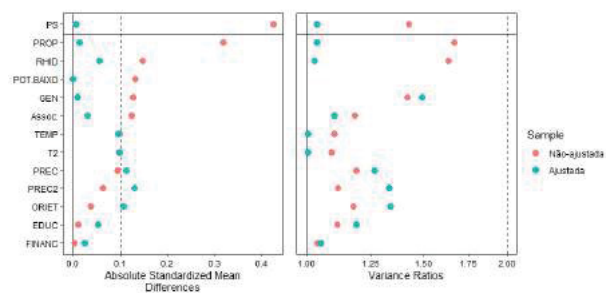
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

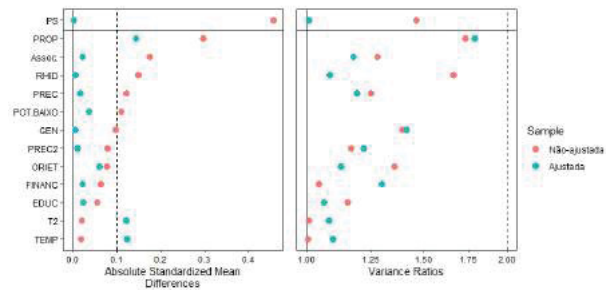


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25

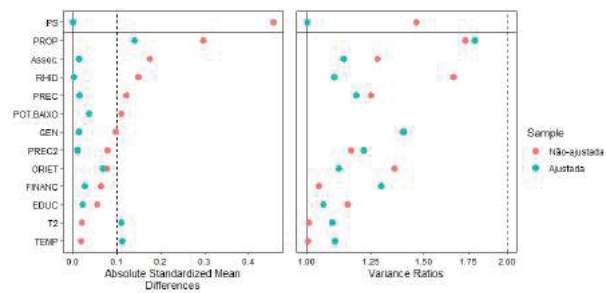


(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

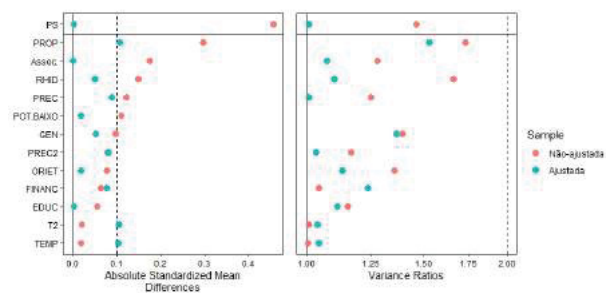
FIGURA 34 – Balanceamento. Variável dependente: emissões de CO₂. Método: *Propensity Score Matching* - Vizinho Mais Próximo. 4º Tratamento



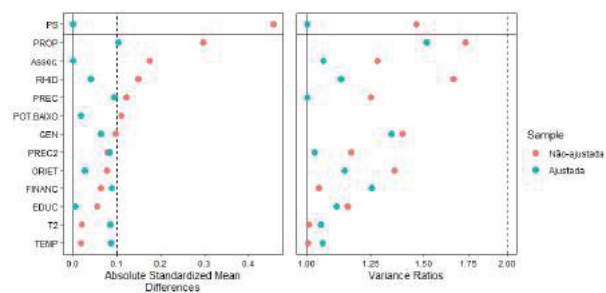
(a) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,25



(b) Método: Vizinho Mais Próximo - 1:1 - *Caliper*: 0,10

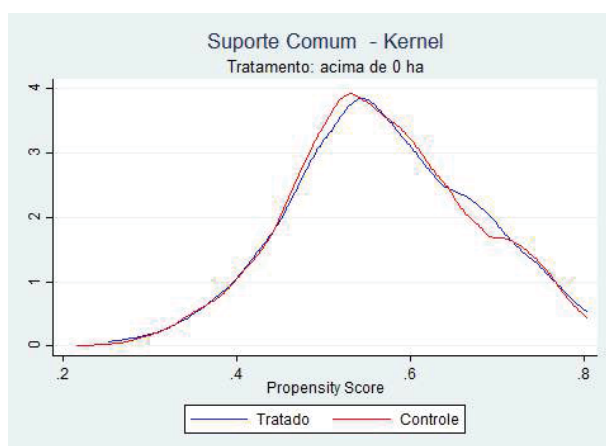


(c) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,25



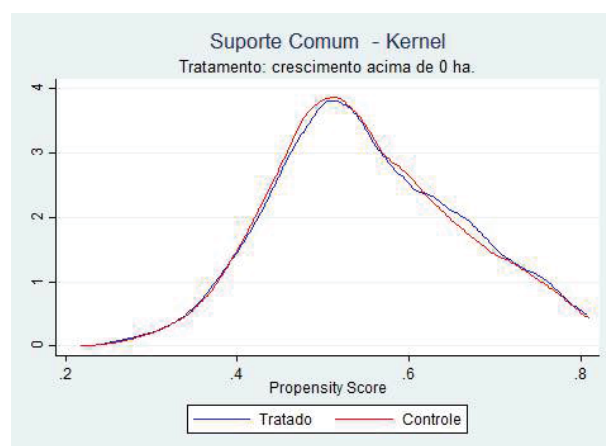
(d) Método: Vizinho Mais Próximo - 2:1 - *Caliper*: 0,10

FIGURA 35 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: *Propensity Score Matching* - Kernel. Tratamento: crescimento acima de 0 hectares



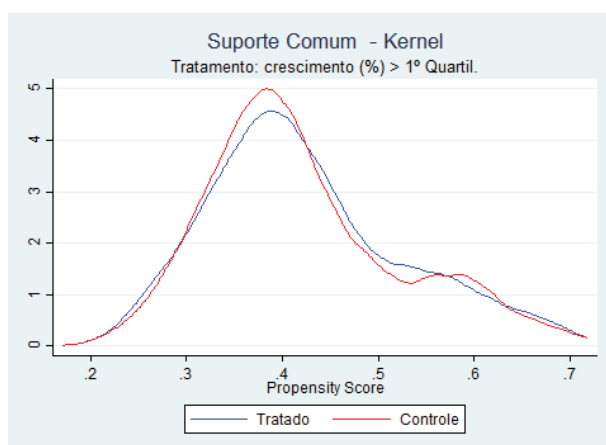
Fonte: elaboração própria.

FIGURA 36 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO₂. Método: *Propensity Score Matching* - Kernel. Tratamento: crescimento acima de 0 hectares.



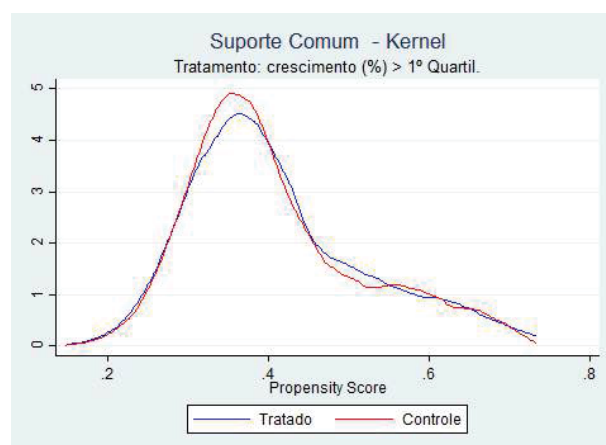
Fonte: elaboração própria.

FIGURA 37 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: *Propensity Score Matching* - Kernel. Tratamento: crescimento (%) > 1º quartil



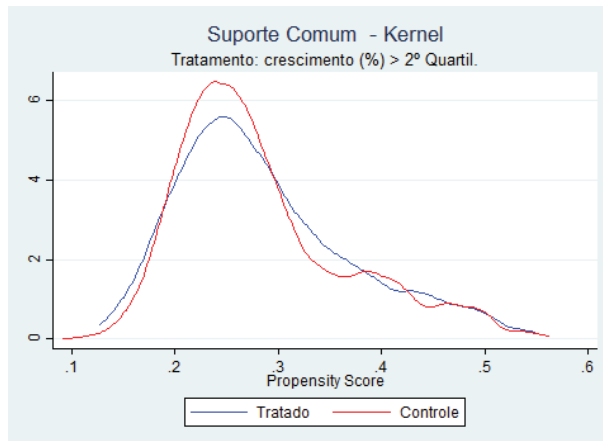
Fonte:elaboração própria.

FIGURA 38 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO₂. Método: *Propensity Score Matching* - Kernel. Tratamento: crescimento (%) > 1º quartil.



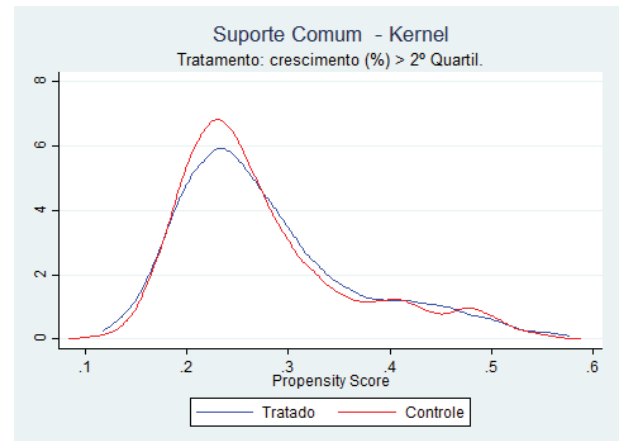
Fonte: elaboração própria.

FIGURA 39 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: *Propensity Score Matching* - Kernel. Tratamento: crescimento (%) > 2º quartil



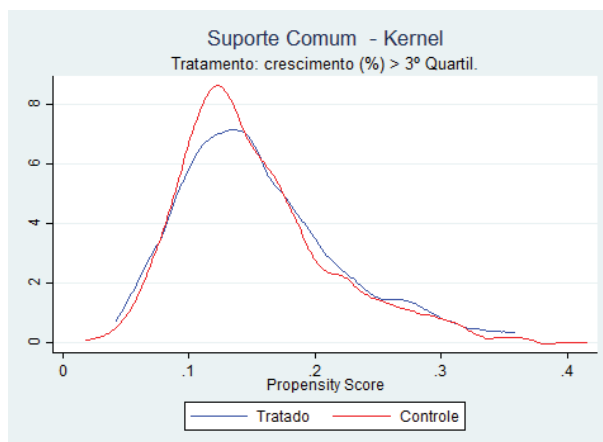
Fonte: elaboração própria.

FIGURA 40 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO₂. Método: *Propensity Score Matching* - Kernel. Tratamento: crescimento (%) > 2º quartil.



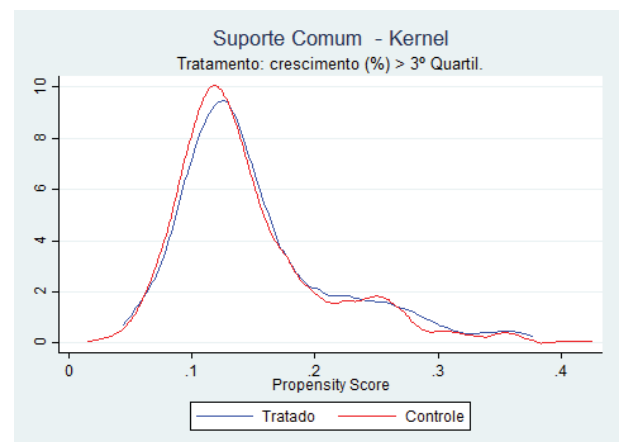
Fonte: elaboração própria.

FIGURA 41 – Suporte comum. Variável dependente: desmatamento. Método: *Propensity Score Matching* - Kernel. Tratamento: crescimento (%) > 3º quartil



Fonte: elaboração própria.

FIGURA 42 – Suporte comum. Variável dependente: emissões de CO₂. Método: *Propensity Score Matching* - Kernel. Tratamento: crescimento (%) > 3º quartil.



Fonte: elaboração própria.

APÊNDICE 2 - TESTES NÃO-PARAMÉTRICOS DE WILCOXON

TABELA 10 – Valores de gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: desmatamento. 1º Tratamento

| Método | Ano | | |
|--|------|------|------|
| | 2017 | 2018 | 2019 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,1 | 1,2 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |

^a Método: Propensity Score Matching.

^b Tratamento: crescimento acima de 0 hectares.

^c Nota: quanto maior o valor de Gama, menor o viés de omissão no pareamento.

Fonte: elaboração própria.

TABELA 11 – Valores de Gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: desmatamento. 2º Tratamento

| Método | Ano | | |
|--|------|------|------|
| | 2017 | 2018 | 2019 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |

^a Método: Propensity Score Matching.

^b Tratamento: crescimento percentual superior ao primeiro quartil.

^c Nota: quanto maior o valor de Gama, menor o viés de omissão no pareamento.

Fonte: elaboração própria.

TABELA 12 – Valores de Gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: desmatamento. 3º Tratamento

| Método | Ano | | |
|--|------|------|------|
| | 2017 | 2018 | 2019 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,4 | 1,2 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,4 | 1,2 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,3 | 1,1 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,3 | 1,1 | 1,1 |

^a Método: Propensity Score Matching.

^b Tratamento: crescimento percentual superior ao segundo quartil.

^c Nota: quanto maior o valor de Gama, menor o viés de omissão no pareamento.

Fonte: elaboração própria.

TABELA 13 – Valores de Gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: desmatamento. 4º Tratamento

| Método | Ano | | |
|--|------|------|------|
| | 2017 | 2018 | 2019 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,4 | 1,1 | 1,2 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,4 | 1,1 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,2 | 1,2 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,2 | 1,2 | 1,1 |

^a Método: Propensity Score Matching.

^b Tratamento: crescimento percentual superior ao terceiro quartil.

^c Nota: quanto maior o valor de Gama, menor o viés de omissão no pareamento.

Fonte: elaboração própria.

TABELA 14 – Valores de Gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: emissões de CO₂. 1º Tratamento

| Método | Ano | | |
|--|------|------|------|
| | 2017 | 2018 | 2019 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,1 | 1,1 | 1,2 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |

^a Método: Propensity Score Matching.

^b Tratamento: crescimento acima de 0 hectares.

^c Nota: quanto maior o valor de Gama, menor o viés de omissão no pareamento.

Fonte: elaboração própria.

TABELA 15 – Valores de Gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: emissões de CO₂. 2º Tratamento

| Método | Ano | | |
|--|------|------|------|
| | 2017 | 2018 | 2019 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |

^a Método: Propensity Score Matching.

^b Tratamento: crescimento percentual superior ao primeiro quartil.

^c Nota: quanto maior o valor de Gama, menor o viés de omissão no pareamento.

Fonte: elaboração própria.

TABELA 16 – Valores de Gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: emissões de CO₂. 3º Tratamento

| Método | Ano | | |
|--|------|------|------|
| | 2017 | 2018 | 2019 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,2 | 1,2 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,2 | 1,2 | 1,1 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |

^a Método: Propensity Score Matching.

^b Tratamento: crescimento percentual superior ao segundo quartil.

^c Nota: quanto maior o valor de Gama, menor o viés de omissão no pareamento.

Fonte: elaboração própria.

TABELA 17 – Valores de Gama dos testes dos postos sinalizados de Wilcoxon para valor-P. Variável dependente: emissões de CO₂. 4º Tratamento

| Método | Ano | | |
|--|------|------|------|
| | 2017 | 2018 | 2019 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,4 | 1,4 | 1,2 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,4 | 1,4 | 1,2 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,25 | 1,4 | 1,5 | 1,2 |
| Vizinho Mais Próximo - 1:1 - Com reposição - caliper: 0,10 | 1,4 | 1,5 | 1,2 |

^a Método: Propensity Score Matching.

^b Tratamento: crescimento percentual superior ao terceiro quartil.

^c Nota: quanto maior o valor de Gama, menor o viés de omissão no pareamento.

Fonte: elaboração própria.